

# HIERARKKISEN YRITYSVERKON SUUNNITTELU JA TOTEUTUS HYÖDYNTÄEN IRF-KYTKINVIRTUALISOINTIA

Janne Raiski

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014

Tietotekniikan koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) Raiski, Janne	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 13.5.2014
	Sivumäärä 163 + 12	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi Hierarkkisen yritysverkon suunnittelu ja toteutus hyödyntäen IRF-kytkinvirtualisointia		
Koulutusohjelma Tietotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Saharinen, Karo Kotikoski, Sampo		
Toimeksiantaja(t) Veljekset Keskinen Oy / IT-osasto		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Veljekset Keskinen Oy, ja työ toteutettiin yrityksen IT-osastolle. Työn tarkoituksena oli kartoittaa yrityksen nykyisen sisäverkon rakenteelliset ongelmakohdat, esittää suunnitelma siitä, millä keinoilla ja tekniikoilla siirrytään hierarkkiseen topologiaan nostamalla runkokerros 10GbE-nopeuteen sekä toteuttaa ja dokumentoida valittu ratkaisu käyttöön tulevilla aktiivilaitteilla testiympäristössä.</p> <p>Nykyisen verkkoympäristön kartoitus piti sisällään aktiivilaitteiden ominaisuuksien ja konfiguraatioiden arvioinnin sekä valokuitukaapeleiden dokumentointia. Työn suunnitteluvaiheessa valittiin yrityksen tarpeisiin sopivin verkon 2-tasoinen hierarkiamalli sekä käytettävät aktiivilaitteet. Verkossa päätettiin hyödyntää IRF- ja MAD-tekniikoita. Laitteiden sijoittaminen, niiden roolit ja implementointi tuotantoympäristöön suunniteltiin myös.</p> <p>Käytännön toteutus suoritettiin testiympäristössä, joka koostui runkokytkimistä, liityntäkytkimistä ja muutamasta työasemasta. Testiympäristö vastasi tuotantoympäristöä ja suunnitteluvaiheessa määritettyjä vaatimuksia. IRF- ja MAD-tekniologioiden käyttöönotto dokumentoitiin, ja niiden toiminta vikatilanteissa testattiin ja todennettiin opinnäytetööhön.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena toimeksiantaja sai uuden virtualisoidun ja kaksitasoisen 10GbE-verkon, joka on konfiguroitu ja testattu hyväksytyjen suunnitelmien mukaan. Yrityksen työntekijöille jäi tehtäväksi määrittää oikeat IP-osoitteet, VLANit ja muut yrityskohtaiset asetukset testiympäristössä käytettyjen määritysten tilalle ennen laitteiden viemistä tuotantoympäristöön. Lisäksi yritys sai selvityksen verkon nykyisestä tilasta. Opinnäytetyön aikana nykyistä tuotantoympäristöä kehitettiin uudistusta varten mm. yhtenäistämällä konfiguraatiot sekä vähentämällä aktiivilaitteiden määrää ja päivittämällä laitekantaa kokonaisuudessaan.</p>		
Avainsanat (asiasanat) IRF, MAD, LACP, HP, Comware, verkon suunnittelu, hierarkkinen verkko, dokumentointi		
Muut tiedot		



Author(s) Raiski, Janne	Type of publication Bachelor's / Master's Thesis	Date 13.5.2014
	Pages 163 + 12	Language Finnish
		Permission for web publication ( X )
Title Designing and implementing hierarchical network utilizing IRF switch virtualization		
Degree Programme Information Technology		
Tutor(s) Saharinen, Karo Kotikoski, Sampo		
Assigned by Veljekset Keskinen Oy / IT Department		
<p>Abstract</p> <p>This bachelor's thesis was assigned by the IT department of Veljekset Keskinen Oy. The goal of this thesis was to survey the faults of the company's current network infrastructure, choose the hardware and technologies for transitioning to a hierarchical network model with a 10GbE core layer and to design a new network infrastructure. The core and access layers were configured and their functions verified in a test environment consisting of the chosen devices.</p> <p>Surveying the current network included defining and documenting the network devices, configurations and the optical fiber cable infrastructure. The design phase included choosing the 2-tier hierarchical network model and the new network devices. It was decided to utilize IRF and MAD technologies in the new network. Placing the network equipment, assigning their roles and implementing them were also planned.</p> <p>The practical phase of this thesis consisted of creating a lab environment comprising the chosen core and access switches and a few workstations. The environment was configured as planned in the previous section to represent the future production environment. Deploying IRF and MAD was documented and their behavior during network failures was tested.</p> <p>As a result the company got a new virtualized 10GbE 2-tier network deployed and tested in a lab environment according to the acknowledged plans. Before implementing the equipment in the production environment the remaining task for the client is to add the real IP-addressing schemes, VLANs and other company-specific configurations. In addition, the company gets an insight of the current network and its faults. The current production network was also improved in the making, and prepared for the renewal by equalizing and updating switch configurations, reducing the number of switches and updating the network equipment on the whole.</p>		
Keywords IRF, MAD, LACP, HP, Comware, network design, hierarchical network, documenting		
Miscellaneous		

## SISÄLTÖ

<b>LYHENTEET.....</b>	<b>7</b>
<b>1 LÄHTÖKOHDAT.....</b>	<b>8</b>
1.1 Toimeksiantaja.....	8
1.2 Opinnäytetyön tarve.....	8
1.3 Tavoitteet .....	9
<b>2 YRITYKSEN SISÄVERKON NYKYTILANNE.....</b>	<b>11</b>
2.1 Verkon kriittiset palvelut .....	11
2.2 Kuitukaapeli-infrastruktuuri .....	12
2.3 WAN-yhteydet .....	12
2.4 VLAN-toteutus .....	13
2.5 Reitityspisteet .....	14
2.6 Spanning Tree -toteutus .....	16
2.7 Laitekanta .....	18
<b>3 TEORIA.....</b>	<b>20</b>
3.1 Hierarkkinen verkko.....	20
3.2 IEEE 802.1w Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) .....	22
3.3 Inter-VLAN Routing .....	25
3.4 Intelligent Resilient Framework (IRF) .....	29
3.5 Multi-Active Detection (MAD).....	37
3.6 IEEE 802.3ad Link Aggregation Control Protocol (LACP) .....	45
3.7 VRRP.....	49
<b>4 SUUNNITTELUOSIO.....</b>	<b>51</b>
4.1 PPDIOO .....	51
4.2 VLAN-suunnittelu.....	52
4.3 Aktiivilaitekannan yhtenäistäminen .....	55
4.4 Verkon uusi topologia.....	57
4.5 Vaihtoehtoiset toteutustavat .....	66
4.6 Palvelimien saatavuuden turvaaminen .....	70
4.7 IRF-kytkinten implementointi tuotantoympäristöön .....	73
<b>5 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS .....</b>	<b>79</b>
5.1 Tavoite .....	79
5.2 Testiympäristö .....	79
5.3 Kuormanjako.....	83
5.4 Työjärjestys.....	85
5.5 IRF .....	85
5.6 VLAN-asetukset.....	97
5.7 LACP-porttikanava .....	102
5.8 Trunk- ja access-portit .....	106
5.9 Porttikanavien aktivointi .....	109
5.10 LACP MAD.....	113
5.11 LLDP-naapuruuudet .....	116

<b>6</b>	<b>TULOKSET</b>	<b>118</b>
6.1	Tavoite	118
6.2	Debugging-komennot	118
6.3	Portin monitorointi	119
6.4	Testi 1	121
6.5	Testi 2	133
6.6	Testi 3	137
6.7	Testi 4	148
6.8	Testi 5	153
<b>7</b>	<b>YHTEENVETO</b>	<b>158</b>
7.1	Tavoitteiden saavuttaminen	158
7.2	PPDIOO	159
7.3	Tulevaisuudessa	159
<b>8</b>	<b>POHDINTA</b>	<b>161</b>
	<b>LÄHTEET</b>	<b>164</b>
	<b>LIITTEET</b>	<b>165</b>
	Liite 1. Yrityksen kuitukaapeli-infrastruktuuri (julkinen versio)	165
	Liite 2. Uudet kuituvedot (julkinen versio)	166
	Liite 3. Testiympäristön fyysiset kytkennät, vaihe 1	167
	Liite 4. IRF-sw konfiguraatio (olennainen osa)	168
	Liite 5. Access-sw1 konfiguraatio	173
	Liite 6. Access-sw2 konfiguraatio	173
	Liite 7. Access-sw3 konfiguraatio	174
	Liite 8. MAD-sw konfiguraatio	175
	<b>KUVIOT</b>	
	Kuvio 1. WAN-linkit	13
	Kuvio 2. Palomuurin sijainti verkossa	15
	Kuvio 3. Työasema-VLANin reitti palvelimille ja ulkoverkkoon	16
	Kuvio 4. Single point of failure	17
	Kuvio 5. STP:n nykyinen toteutus	18
	Kuvio 6. 3-tasoinen verkkomalli	21
	Kuvio 7. 2-tasoinen verkkomalli	22
	Kuvio 8. RSTP porttien rollit	24
	Kuvio 9. Router-on-a-stick	26
	Kuvio 10. Inter-VLAN Routing	28
	Kuvio 11. RSTP-verkkotopologia	30
	Kuvio 12. IRF-verkkotopologia	30
	Kuvio 13. IRF-linkki	33
	Kuvio 14. IRF partition	36
	Kuvio 15. IRF merge	36
	Kuvio 16. IRF partition "daisy chain"-topologiassa	37
	Kuvio 17. IRF partition rengastopologiassa	37
	Kuvio 18. IRF <i>split</i> -tilanteen vaikutus liikenteen välitykseen	38
	Kuvio 19. MAD-toimintaperiaate ja "recovery"-tila	38

Kuvio 20. LACP MAD ja <i>active ID</i> –viestit vikatilanteessa .....	40
Kuvio 21. BFD MAD normaali tilanne .....	42
Kuvio 22. BFD MAD <i>split</i> -tilanne .....	43
Kuvio 23. ARP MAD normaali tilanne .....	44
Kuvio 24. ARP MAD <i>split</i> -tilanne .....	44
Kuvio 25. LACP-porttikanava .....	45
Kuvio 26. HP2530:n LACP kuormanjaon puutteet .....	48
Kuvio 27. VRRP:n toiminta .....	50
Kuvio 28. Kaksitasoinen hierarkkinen topologia Keskisen ympäristössä .....	59
Kuvio 29. IRF looginen topologia Keskisen ympäristössä .....	61
Kuvio 30. IRF fyysinen topologia Keskisen ympäristössä .....	61
Kuvio 31. Linkkivälin kahdentaminen .....	63
Kuvio 32. LACP-porttikanava IRF:n ja liityntäkytkimen välissä .....	63
Kuvio 33. Liityntäkytkinten ketjutus .....	64
Kuvio 34. Kuituparin lenkitys, fyysinen näkymä .....	65
Kuvio 35. Kuituparin lenkitys, looginen näkymä .....	66
Kuvio 36. Kolme erillistä IRF-domainia .....	68
Kuvio 37. Kaksi erillistä IRF-domainia .....	69
Kuvio 38. Palvelimien nykyinen topologia .....	71
Kuvio 39. Palvelinhuoneen topologia .....	73
Kuvio 40. STP:n nykyinen juurikytkin .....	75
Kuvio 41. STP:n liikennevirta juuren vaihtamisen jälkeen .....	75
Kuvio 42. IRF-kytkimen lisääminen verkkoympäristöön .....	76
Kuvio 43. IRF-kytkimen vaihtaminen STP-juureksi .....	77
Kuvio 44. Palvelimien siirto uusiin liityntäkytkimiin .....	77
Kuvio 45. Testiympäristön IRF-domainin fyysinen topologia .....	80
Kuvio 46. Testiympäristön looginen topologia vaihe 1 .....	82
Kuvio 47. Testiympäristön fyysinen topologia vaihe 1 .....	83
Kuvio 48. Testiympäristö <i>local-first load sharing</i> .....	84
Kuvio 49. IRF:n konfiguroinnin työjärjestys .....	85
Kuvio 50. IRF member-ID:n vaihtaminen .....	87
Kuvio 51. Priority-arvon vaihtamisen virhetilanne .....	87
Kuvio 52. Member1 tarkistus ennen IRF:n aktivointia .....	89
Kuvio 53. Member3 tarkistus ennen IRF:n aktivointia .....	89
Kuvio 54. Member5 tarkistus ennen IRF:n aktivointia .....	90
Kuvio 55. Member7 tarkistus ennen IRF:n aktivointia .....	90
Kuvio 56. Member1 rajapintojen sulkeminen .....	91
Kuvio 57. Member7 portin 1 SFP-info .....	92
Kuvio 58. Member1 IRF-portin konfigurointi .....	93
Kuvio 59. Member1 fyysisten IRF-porttien kuvaukset .....	93
Kuvio 60. Member1 IRF-tiedot ennen IRF:n aktivointia .....	94
Kuvio 61. Aktiivinen IRF, jäsen- ja domain-tiedot .....	95
Kuvio 62. Aktiivinen IRF, topologiatiedot .....	96
Kuvio 63. Aktiivinen IRF, portti- ja konfiguraatietiedot .....	96
Kuvio 64. Jäsenkytkinten kuvaukset .....	97
Kuvio 65. Luodut VLANit .....	99
Kuvio 66. Luodut VLAN-rajapinnat .....	99

Kuvio 67. VLAN 30 ja VLAN-rajapinnan 30 tiedot .....	100
Kuvio 68. IRF-kytkin IP-tiedot .....	100
Kuvio 69. Access-sw1:n VLANit .....	101
Kuvio 70. Access-sw1 L3-tiedot .....	102
Kuvio 71. IRF-kytkin BAGG1-tiedot .....	103
Kuvio 72. IRF-kytkin BAGG1:n fyysiset portit .....	104
Kuvio 73. IRF-kytkin XGE1/0/10 –asetukset .....	104
Kuvio 74. IRF-kytkimen BAGG2:n konfigurointi trunk-portiksi .....	107
Kuvio 75. IRF-kytkin trunk-määritykset .....	107
Kuvio 76. Access-sw1 Trk1:n VLAN-tiedot .....	108
Kuvio 77. Access-sw1:n VLANit konfiguraatietiedostossa .....	109
Kuvio 78. IRF-kytkin BAGG1, BAGG2 ja BAGG3 .....	110
Kuvio 79. IRF-kytkin link-aggregation summary .....	111
Kuvio 80. Access-sw1:n LACP-tiedot .....	112
Kuvio 81. Access-sw1:n LACP-naapurin tiedot .....	112
Kuvio 82. LACP-MAD-passthrough status .....	114
Kuvio 83. MAD-sw Trk1:n VLANit .....	114
Kuvio 84. IRF-kytkin BAGG1:n ja LACP MAD:n käyttöönotto .....	115
Kuvio 85. IRF-kytkimen MAD-status .....	116
Kuvio 86. Testiympäristön kaikki porttikanavat toiminnassa .....	116
Kuvio 87. IRF-kytkimen LLDP-naapurit .....	117
Kuvio 88. Access-sw1:n LLDP-naapurit .....	117
Kuvio 89. IRF-kytkin mirror-group 1 .....	120
Kuvio 90. MAD excluded ports .....	120
Kuvio 91. Testi 1 .....	121
Kuvio 92. Testi 1 aktiivinen IRF-domain .....	122
Kuvio 93. Testi 1 aktiiviset IRF-portit .....	122
Kuvio 94. Testi 1 Access-sw1:n porttikanava .....	123
Kuvio 95. Testi 1 Access-sw1:n LACP-tiedot .....	123
Kuvio 96. Testi 1 Access-sw3:n LACP-tiedot .....	124
Kuvio 97. Testi 1 MAD-sw:n porttikanava Trk1 vikatilanteessa .....	124
Kuvio 98. Testi 1 Aktiivisen IRF-kytkimen porttikanavat ja VLAN-rajapinnat .....	125
Kuvio 99. Testi 1 Aktiivisen IRF-kytkimen porttikanavien yhteenveto .....	125
Kuvio 100. MAD PktType & Result .....	126
Kuvio 101. Testi1 LACP MAD normaali tilanne .....	126
Kuvio 102. Testi 1 normaalitilanteen MAD TLV .....	126
Kuvio 103. Testi 1 LACP MAD vikatilanne .....	127
Kuvio 104. Testi 1 Member1: MAD Conflict detected .....	127
Kuvio 105. Testi 1 MAD-sw ensimmäinen tapahtuma .....	128
Kuvio 106. Testi 1 Member3: MAD Conflict detected .....	128
Kuvio 107. Testi 1 MAD-sw: Member7 ilmoitus domain-jäsenyydestä .....	128
Kuvio 108. Testi 1 MAD-sw: Member1 ja Member3 ilmoitus domain-jäsenyydestä .....	129
Kuvio 109. Testi 1 MAD-sw: Member1 ja Member3 active-ID –tiedot .....	129
Kuvio 110. Testi 1 Member1 CheckAlive-pyyntö Member5:lle .....	130
Kuvio 111. Testi 1 WS1:n ping IRF split -tilanteessa .....	130
Kuvio 112. Testi 1 <i>IRF merge</i> link status up .....	131
Kuvio 113. Testi 1 <i>IRF merge</i> link status change .....	131

Kuvio 114. Testi 1 MAD-sw: IRF merge .....	131
Kuvio 115. Testi 1 MAD elect success in merge .....	132
Kuvio 116. Testi 1 <i>IRF merge</i> synchronizing.....	132
Kuvio 117. Testi 1 porttikanavat vikatilanteen jälkeen.....	132
Kuvio 118. Testi 1 WS1:n ping-kysely <i>IRF mergen</i> aikana .....	133
Kuvio 119. Testi 2 .....	134
Kuvio 120. Testi 2 normaalitilanteen ping WS1:llä .....	134
Kuvio 121. Testi 2 normaalitilanteen ping WS4:lla .....	135
Kuvio 122. Testi 2 WS1:n iperf-komento .....	135
Kuvio 123. Testi 2 WS4:n iperf-komento .....	135
Kuvio 124. Testi2 aktiivinen IRF-domain .....	135
Kuvio 125. Testi 2 WS1 ping-tulos.....	136
Kuvio 126. Testi 2 WS4 ping-tulos.....	136
Kuvio 127. Testi 2 WS1 iperf-tulos .....	136
Kuvio 128. Testi 2 WS4 iperf-tulos .....	137
Kuvio 129. Testi 3 looginen topologia .....	138
Kuvio 130. Testi 3 fyysinen topologia.....	139
Kuvio 131. Testi 3 normaalitilanteen ping WS1:llä .....	140
Kuvio 132. Testi 3 normaalitilanteen ping WS2:lla .....	140
Kuvio 133. Testi 3 Member7 MAD TLV normaalitilanteessa .....	140
Kuvio 134. Testi 3 Member1 IRF-ports shutdown .....	141
Kuvio 135. Testi 3 Member3:n ensimmäinen MAD TLV vikatilanteessa .....	141
Kuvio 136. Testi 3 Member1 havaitsee rinnakkaisen domainin .....	141
Kuvio 137. Testi 3 Member3:n ilmoitus kaikille jäsenkytkimille .....	142
Kuvio 138. Testi 3 MAD-viestien vaihtoa domainien välillä.....	142
Kuvio 139. Testi 3 MAD valitsee aktiivisen domainin .....	143
Kuvio 140. Testi 3 Member3 MAD-recovery.....	143
Kuvio 141. Testi 3 Recovery-domain rajapinnat .....	144
Kuvio 142. Testi 3 recovery-domainin vaihtunut Bridge MAC –osoite .....	144
Kuvio 143. Testi 3 Member1:n aktiivinen IRF-domain .....	145
Kuvio 144. Testi 3 WS1 ping-tulokset.....	145
Kuvio 145. Testi 3 WS2 ping-tulokset.....	145
Kuvio 146. Testi 3 IRF merge .....	146
Kuvio 147. Testi 3 CPU:n käyttöaste <i>IRF mergen</i> jälkeen.....	147
Kuvio 148. Testi 3 WS1:n ping-tulos.....	147
Kuvio 149. Testi 3 WS2:n ping-tulos.....	148
Kuvio 150. Testi 4 .....	149
Kuvio 151. Testi 4 IRF-ympäristö ennen uudelleenkäynnistystä .....	150
Kuvio 152. Testi 4 normaalitilanteen ping-tulos WS1:llä .....	150
Kuvio 153. Testi 4 normaalitilanteen ping-tulos WS2:lla .....	150
Kuvio 154. Testi 4 Member1 reboot ja master-vaalit .....	151
Kuvio 155. Testi 4 Member1 liittyy takaisin IRF-domainiin .....	152
Kuvio 156. Testi 3 tilanne heti IRF mergen jälkeen .....	152
Kuvio 157. Testi 4 ping-tulos WS1:llä .....	153
Kuvio 158. Testi 4 ping-tulos WS2:lla .....	153
Kuvio 159. Testi 5 .....	154
Kuvio 160. Testi 5 Member3 reboot ja master-vaalit .....	155



Kuvio 161. Testi 5 Member3 liittyy takaisin IRF-domainiin .....	156
Kuvio 162. Testi 5 IRF merge tapahtunut.....	156
Kuvio 163. Testi 5 WS1:n ping-kyselyn tulos.....	157
Kuvio 164. Testi 5 WS2:n ping-kyselyn tulos.....	157
Kuvio 165. Yrityksen looginen topologia tulevaisuudessa .....	160

## **TAULUKOT**

Taulukko 1. TP-toimistojen/ravintolan kytkinporttien määrät .....	19
Taulukko 2. RSTP cost-arvot.....	25
Taulukko 3. Yhden IRF-domainin 10GbE-portit.....	67
Taulukko 4. Kolmen IRF-domainin 10GbE-portit .....	69
Taulukko 6. Kahden IRF-domainin 10GbE-portit.....	70
Taulukko 7. Testiympäristön VLANit ja IP-osoiteavaruudet .....	81
Taulukko 8. Testiympäristön IP-osoitteet .....	81

## LYHENTEET

AAA	Authentication, Authorization & Accounting
AD	Active Directory
ARP	Address Resolution Protocol
BAGG	Bridge Aggregation
CCDA	Cisco Certified Design Associate
CCDP	Cisco Certified Design Professional
CE	Customer Edge
CLI	Command Line Interface
CPU	Central Processing Unit
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
GbE	Gigabit Ethernet
HA	High Availability
HP	Hewlett-Packard
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IGMP	Internet Group Management Protocol
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol television
IPv4/6	Internet Protocol version
IRF	Intelligent Resilient Framework
ISSU	In-Service Software Upgrade
L2	OSI-mallin kerros 2
L3	OSI-mallin kerros 3
LACP	Link Aggregation Control Protocol
LACPDU	Link Aggregation Control Protocol Data Unit
LLDP	Link Layer Discovery Protocol
MAC	Media Access Control
MAD	Multi-Active Detection
MSTP	Multiple Spanning Tree Protocol
OSI	Open Systems Interconnections
PoE	Power over Ethernet
QoS	Quality of Service
RSTP	Rapid Spanning Tree Protocol
SFP(+)	Small Form-factor Pluggable
STP	Spanning Tree Protocol
SVI	Switch Virtual Interface
TLV	Type-Length-Value
VLAN	Virtual Local Area Network
VoIP	Voice over Internet Protocol
VSS	Virtual Switching System
VTY	Virtual Teletype
WAN	Wide Area Network

# 1 LÄHTÖKOHDAT

## 1.1 Toimeksiantaja

Alavuden kaupungin Tuurissa sijaitsevan Veljekset Keskinen Oy:n juuret ovat 1800-luvulla, jolloin Kustaa Keskinen kiersi kulkukauppiaana Tuurin lähialueilla. Hänen pojanpoikansa Toivo Keskinen perusti ensimmäisen kiinteän kauppapaikan Tuuriin vuonna 1946, josta kauppa siirtyi nykyiselle paikalleen vuonna 1969. (Historiaa 2014.)

Toivon pojat Matti ja Mikko Keskinen ostivat kaupan vuonna 1976, jolloin yrityksestä tuli Veljekset Keskinen Oy. Nykyinen toimitusjohtaja, Vesa Keskinen, aloitti virkansa vuonna 1994. Vesan johdolla kyläkaupasta on vuosien varrella kehittynyt matkailunähtävyys. (Historiaa 2014.)

Nykypäivänä kyläkaupasta voidaan puhua yrityskeskittymänä, sillä Tuurin alueella toimii yli 60 yritystä. Määrä pitää sisällään muun muassa vaateliikkeitä, huoltoaseman, autoliikkeitä, Alkon, apteekin, silmälasiliikkeen, lääkäriaseman ja labyrinthimaa- ilman. Myynniltään Kyläkauppa on Suomen toiseksi suurin heti Helsingin Stockmannin jälkeen. (Nykypäivää 2014.)

## 1.2 Opinnäytetyön tarve

2000-luvulla tapahtunut kyläkaupan voimakas laajentuminen sekä tietoverkkoa hyödyntävien palveluiden määrän suuri kasvu on tuonut haasteita sisäverkon toteutukseen. Vaikka kyseessä on yksi toimipiste, ovat kyläkaupan rakennuskompleksin suuruudesta johtuvat ”maantieteelliset” ongelmat osasyynä nykytilanteen ongelmiin. Osastot ovat vaihtaneet sijaintejaan kaupan sisällä tiuhaan tahtiin samalla, kun toimistotiloja on siirrelty ja rakennettu uusia.

Jatkuvan muutoksen takia oppikirjamainen ajattelumalli kerrosjakamoista ja pysyvistä työpisteistä ei ole ollut mahdollista. Kuitukaapelivetojen suunnittelu ja dokumentointi ovat jääneet taka-alalle yrityksen voimakkaan laajentumisen vuoksi, minkä seurauksena verkon vikasietoisuuden ja hallittavuuden tasot ovat laskeneet. Tämä on ollut havaittavissa esimerkiksi silloin, jokin erillinen rakennus on menettänyt yhteyden verkkoon kaivinkoneiden rikkoessa yhden kuitukaapelin.

Nykyään on havaittavissa pysyvyyttä ainakin itse päärakennusten, kassalinjastojen sekä toimistotilojen sijainnin suhteen. Täten verkkouudistus on ajankohtainen, jotta seuraavien vuosien laajentuminen voidaan toteuttaa verkon kannalta hallitusti.

### **1.3 Tavoitteet**

Veljekset Keskinen Oy:n IT-osasto on katsonut tarpeelliseksi muuttaa sisäverkko hierarkiseen malliin ja samalla nostaa sisäverkon nopeus 1Gb:stä 10GbE-nopeuteen, mikä edellyttää verkon suunnittelua, vanhan laitekannan suorituskyvyn kartoittamista ja uusia laitehankintoja. Olennaisessa osassa on palvelimien saatavuuden parantaminen ja VLAN-reitityksen siirtäminen runkokerrokseen sijoitettaville L3-kytkimille.

Toimeksiantaja määrittä opinnäytetyön aiheeksi kartoittaa sisäverkon nykyisen rakenteen aiheuttamat ongelmakohdat, luoda suunnitelma hierarkkisesta verkkomallista valituilla aktiivilaitteilla ja siitä, miten uusi ympäristö voidaan implementoida yrityksen tuotantoympäristöön. Sisäverkon topologia ja käytettävät teknologiat tulee suunnitella siten, että ne ovat toteutettavissa yrityksen käytössä olevan laitevalmistajan laitteilla. Opinnäytetyöstä tulisi käydä ilmi saavutettavat hyödyt entiseen malliin verrattuna.

Opinnäytetyön käytännön osuudessa liityntä- ja runkokerroksen uudet käyttöönotettavat teknologiat tulee toteuttaa ja niiden toiminta todentaa testiympäristössä, joka rakennetaan käyttöön tulevilla aktiivilaitteilla. Testiympäristö tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että toimeksiantaja voisi periaatteessa siirtää ympäristö tuotantoon lisäämällä ainoastaan yrityksen omat asetukset ja vaihtamalla IP-osoitteet konfigu-

raatioihin. Testiympäristön toteutus ja todennus dokumentoitiin opinnäytetyöhön siten, että opinnäytetyötä voidaan käyttää ohjeena uuden ympäristön rakentamiseen.

Toimeksiantaja asetti uudistetun sisäverkon tavoitteeksi seuraavia asioita:

- Hierarkkinen rakenne, jonka ylin kerros toimii 10GbE-linkeillä
- Riittävä suorituskyky laitteiden elinkaaren loppuun asti
- Hallinnan ja vianetsinnän helpottaminen
- Kriittisten palveluiden osalta korkea saatavuus ja vikasietoisuus
- Skaalautuvuus
- Kustannustehokkuus
- Ratkaisun tulee helpottaa myös tulevaisuuden muutoksia (esimerkiksi palomuurin uusiminen, AAA-arkkitehtuurin laajempi käyttöönotto, uudet fyysiset palvelimet)
- Laitekannan ja konfiguraatioiden yhtenäistäminen
- Kytkinten porttimäärän tehokkaampi käyttöaste

Opinnäytetyön lukijan tulisi jo valmiiksi ymmärtää LAN-ympäristöjen yleisimmät L2- ja L3-toimintaperiaatteet. Teoriaosuudessa keskitytäänkin käsittelemään vain opinnäytetyön kannalta keskeiset tekniikat esimerkiksi kytkennän tai reitityksen perusteiden sijaan.

## 2 YRITYKSEN SISÄVERKON NYKYTILANNE

### 2.1 Verkon kriittiset palvelut

Veljekset Keskinen Oy:n liiketoiminnan perusedellytyksenä on kassalinjastoissa käytettävien tietokoneiden toimintakyky ja tietoliikenneyhteydet. Erilaisia kassalinjastoja on Kyläkaupassa 14 kappaletta: Tavarapuoti, Ruokapuoti, Pihapuoti, huoltoasema, hotelli, Gern-huolto, neuvontapisteet sekä grilli-, kahvila- ja ravintolapalvelut. Lisäksi erilaisissa tapahtumissa tarvitaan mobiilikassoja. Tämä tarkoittaa sitä, että kassavirran tietoliikenteen turvaaminen vikasietoisilla ratkaisuilla on hyvin tärkeää.

Reaaliaikaista tiedonsiirtoa vaativia laitteistoja ja järjestelmiä Kyläkaupassa ovat valvontakamerat, hälytínjärjestelmä, kulunvalvonta, erilaisten tapahtumien videostreamit sekä hotellin palveluna oleva IPTV. Kameravalvontaa tarvitaan turvallisuussyistä ja myös kiinteistöhuollon tehtävissä, ja kamerajärjestelmät ovat nykyään IP-pohjaisia.

Pelkästään Tavarapuolen tuotetietokannassa on lähes 1,3 miljoonaa tuotetta, joten toiminnanohjausjärjestelmäkokonaisuuden saatavuus on tärkeässä roolissa. Se mahdollistaa päivittäisen työnteon talossa, sillä osastot toimistoista varastoon ja etätöntyöntekijöihin tarvitsevat tuotetietokantaa ja sitä käyttäviä järjestelmiä.

Kyseessä on siis ”24/7”-yritys, jonka kaikkien liiketoimintaan osallistuvien osastojen tehtävät on riippuvaisia tietoliikenteen toimivuudesta, mikä vaatii verkolta luotettavaa suorituskykyä ja kaistannopeutta eikä salli pitkiä käyttökatoja. Liiketoiminta halutaan pitää toimivana jatkuvasti, joten isommat huoltotoimenpiteet täytyy ajoittaa yöaikaan tai niille harvoille päiville, kun kauppa ja hotelli ovat kiinni.

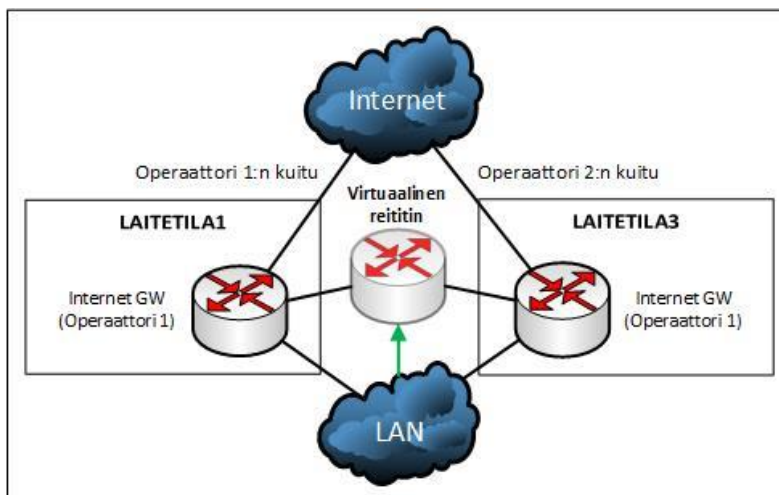
## 2.2 Kuitukaapeli-infrastruktuuri

Liitteessä 1 on esitelty yksinkertaistettu looginen malli siitä, miten Veljekset Keskinen Oy:n toimitilat ovat tällä hetkellä yhdistetty toisiinsa 1GbE-valokuidulla. Toimeksiantajan toiveesta liitteessä oleva yrityksen pohjakartta poistettiin opinnäytetyön julkisesta versiosta, minkä vuoksi kuituvetojen etäisyydet eivät käy ilmi liitteestä. Verkko yhdistää toisiinsa koko Tuurin kauppakylässä sijaitsevan yrityskompleksin, mihin sisältyy itse kaupparakennuksen osastot ja muutama ulkopuolinen rakennus. Kuvioon ei ole selkeyden vuoksi lisätty kaikkia aktiivilaitteita, vaan L2-kytkinsymbolit kuvaavat ristiinkytcentäkaappeja. Tarkoituksena on lähinnä havainnollistaa suurempi kokonaiskuva yrityksen verkkolaitteiden sijainnista ja havainnollistaa verkon keskeisimmät solmukohdat jatkuvasti muuttuvassa ympäristössä.

## 2.3 WAN-yhteydet

Yrityksen WAN-linkkeinä toimii kaksi eri yksimuotokuitua, jotka ovat kahden eri operaattorin omistamia. Keskisen tiloissa kuidut yhdistetään kahdessa eri paikassa sijaitseviin Operaattori 1:n hallinnoimiin CE-reitittimiin, jotka varmistavat toisiaan VRRP-tekniikalla. Sisäverkosta ulkoverkkoon kulkevan liikenteen *"first hop"*-osoitteena toimii siis näiden kahden reitittimen muodostaman virtuaalisen rajapinnan IP-osoite.

Ensisijaisesti käytössä oleva Operaattori 1:n yksimuotokuitu saapuu Laitetila1:een, ja varalinkkinä toimiva Operaattori 2:n yksimuotokuitu päätetään samalla tavalla Laitetila3:n laitekaappiin. Tämä on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. WAN-linkit

## 2.4 VLAN-toteutus

Keskisen aliverkot ja VLANit on toteutettu pääosin hyvin käyttötarkoituksen mukaan. Hallintaliikenne ja eri käyttötarkoitusten aliverkot on sijoitettu loogisesti eri VLANeihin. Verkkorakenteen ja nykyisen konfiguroinnin seurauksena VLANit ovat ns. *end-to-end* –VLANeja, jotka mahdollistavat työntekijöiden sijoittamisen samaan VLANiin riippumatta fyysisestä sijainnista.

*End-to-end* –VLANeissa broadcast-liikenne kulkee koko yritysverkon päästä päähän trunk-portteja pitkin. Vaikka tämän ansiosta L2- ja L3-segmentit voidaan laajentaa koko yrityksen verkkoon ja jopa WAN-linkin yli, se aiheuttaa myös ongelmia. Liikenteen välittämiseksi kytkinten VLAN-tietokantaan on konfiguroitava sellaisia VLANeja, joita kyseisissä laitteissa ei tarvitsisi. Myös vianetsintä vaikeutuu, sillä vikatilanteissa VLANeilla ei ole johdonmukaista reittiä eteenpäin verkossa, ja STP:n toiminta saattaa aiheuttaa ongelmia. (Froom, Sivasubramanian & Frahim 2010, 56-57.)

Vaikka muilta osin verkko on segmentoitu käyttötarkoitusten mukaisesti, sijaitsevat osastojen ja toimistojen kaikki työasemat, verkkotulostimet ja asiakaspäätteet yhdessä aliverkossa omassa työasema-VLANissaan. Nykyään yrityksen työasemaverkko olisi voimakkaan kasvun jälkeen jaettavissa loogisesti eri osastoihin, sillä päätelaitteiden määrä on kasvanut ja eri osastojen toiminnassa ja resurssientarpeessa on mer-



kittäviä eroja. Työasema-VLAN ja sen IP-aliverkko onkin syytä segmentoida, mikä palvelee myös tulevaisuudessa tehtäviä muutoksia tietoturvaan, pääsynhallintaan ja palvelunlaatuun. Yrityksen kasvamisen mukana tuomat mahdolliset uudet kokonaisuudet voidaan myös lisätä omaksi segmentiksi, mikä lisää verkon modulaarisuutta.

Toimeksiantajan toiveesta tarkempaa VLAN-suunnittelua ei kirjata opinnäytetyöhön, vaan ainoastaan parhaat käytännöt ja HP:n kytkimien tapa VLANien toteuttamiseen. Työn käytännön osuudessa mallinnetaan eri työasema-VLANien välinen reititys C-luokan aliverkoilla ilman DHCP-määrittelyä.

## 2.5 Reitityspisteet

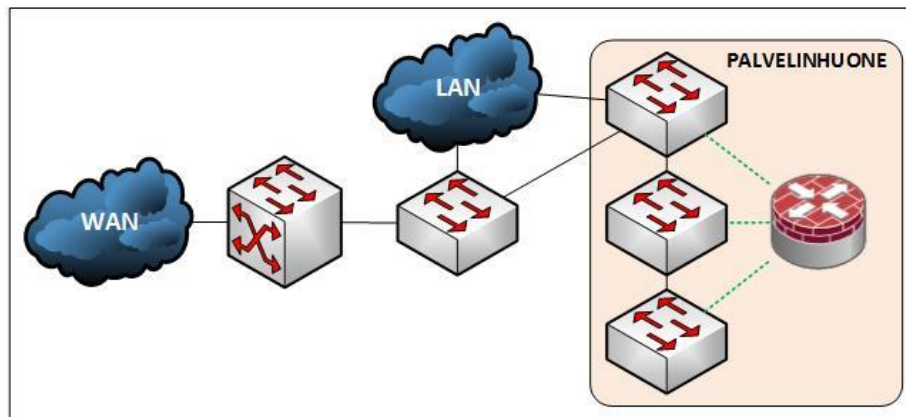
Verkkoliikenteen reititys perustuu virtuaaliseen reitittävään palomuriin ja yhteen modulaariseen L3-kytkimeen. Jälkimmäinen on STP:n juurikytkin, ja siihen on konfiguroitu virtuaalinen VLAN-rajapinta yrityksen kaikkien työasemien käyttämälle VLANille. Tälle rajapinnalle on annettu IP-osoite, ja se toimii VLANin L3-yhdyskäytävänä. Kytkimen reititauluun on osoitettu staattinen oletusreitti työasema-VLANin yhdyskäytävästä kohti palomuurin verkkorajapintaa. Näin ollen yrityksen työasemien liikenne kulkee kytkimen VLAN-rajapinnan kautta kohti palomuuria, jossa tapahtuu VLANien välinen reititys. Näin matkan varrelle muodostuu ylimääräisiä hyppyjä, sillä työasemat sijaitsevat loogisesti kaukana palvelimista, reitityspisteestä ja internet-yhdyskäytävästä.

Palomuri hoitaa sekä VLANien välisen reitityksen että reitittämisen ulkoverkkoon. Palomuurilla on virtuaalinen verkkorajapinta jokaista sitä tarvitsevaa VLANia kohden ulkoverkon ”*external*”-rajapintojen lisäksi.

Nykyisellään yhteen virtuaalipalvelimien fyysiseen alustaan menee neljä 1GbE-kuparikaapelia jakaen kuormaa, joten toistaiseksi kaistanleveys on verkkolaitteiden osalta riittänyt. Palvelinten liityntäkytkimistä on kuitenkin vain 1GbE-linkki eteenpäin verkkoon, joten virtuaalipalvelimien fyysisten alustojen eri linkkien yhteenlaskettu kaistannopeus menetetään. Pullonkaulaksi muodostuu myös palomuurissa suoritet-

tavat muut resursseja vaativat tehtävät, sen virtuaalisten verkkorajapintojen nopeus ja sovelluspohjainen reititys.

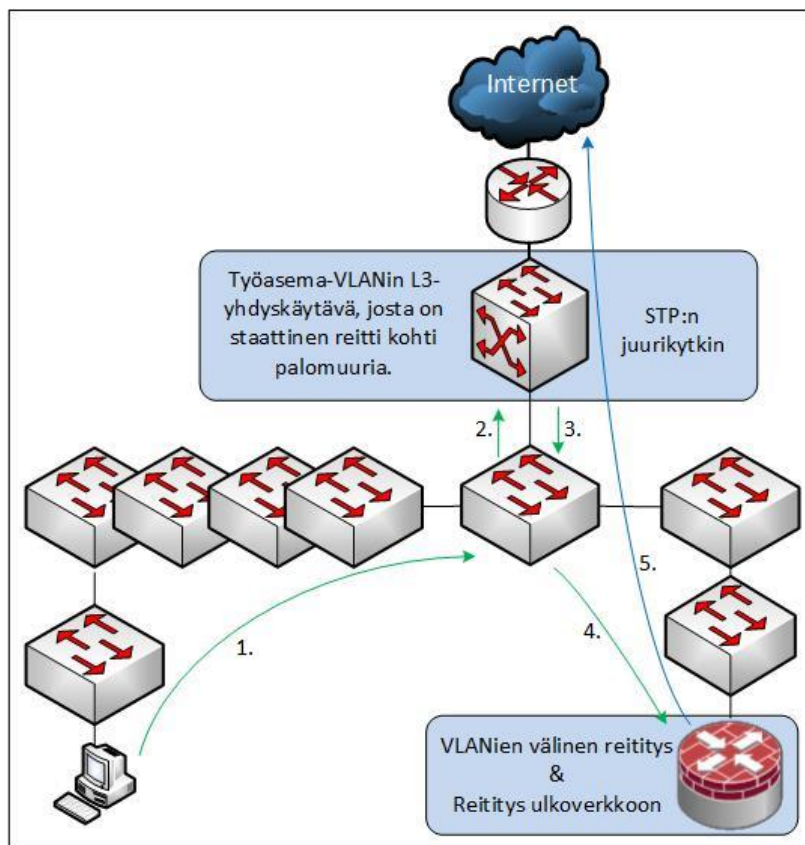
Kuviossa 2 on havainnollistettu palomuurin nykyinen looginen sijainti verkossa. Se on luonnollisesti sama kuin palvelimien, sillä palomuri on virtuaalikone fyysisessä palvelinalustassa.



Kuvio 2. Palomuurin sijainti verkossa

Vaikka virtuaalikoneet ovat kahdennettuja, on palomuurin vikasetoisuudessa parannettavaa. Sen toiminta sekä toipuminen vikatilasta ovat riippuvaisia palvelinten HA-järjestelyistä ja verkkoratkaisuista. Opinnäytetyössä otetaan kantaa virtuaalijärjestelmien saatavuuteen ainoastaan verkon aktiivilaitteiden osalta.

Kuviossa 3 nähdään yksinkertaistetusti kaupan ja toimistojen käyttämässä työasema-VLANissa sijaitsevan loppukäyttäjän looginen reitti ulkoverkkoon sekä palvelimille. Kuviosta voidaan havaita, kuinka monen aktiivilaitteen läpi liikennevirran reitti kulkee. Kuvio esittää huonoimman mahdollisen tilanteen, joka opinnäytetyön aikana löydettiin tuotantoverkosta. Liikenne lähtee (1.) työasemalta aina kohti sisäverkon STP-juurikytkintä ja L3-yhdyskäytävää (2.). Juurikytkin reitittää ja välittää (3.) työasema-VLANin liikenteen staattisesti kohti palvelinympäristössä sijaitsevan palomuurin VLAN-rajapintaa (4.). Palomuri reitittää työasema-VLANin liikenteen muihin VLANeihin tai ulkoverkkoon (5.), jolloin liikenne kulkee jälleen usean aktiivilaitteen kautta.



Kuvio 3. Työasema-VLANin reitti palvelimille ja ulkoverkkoon

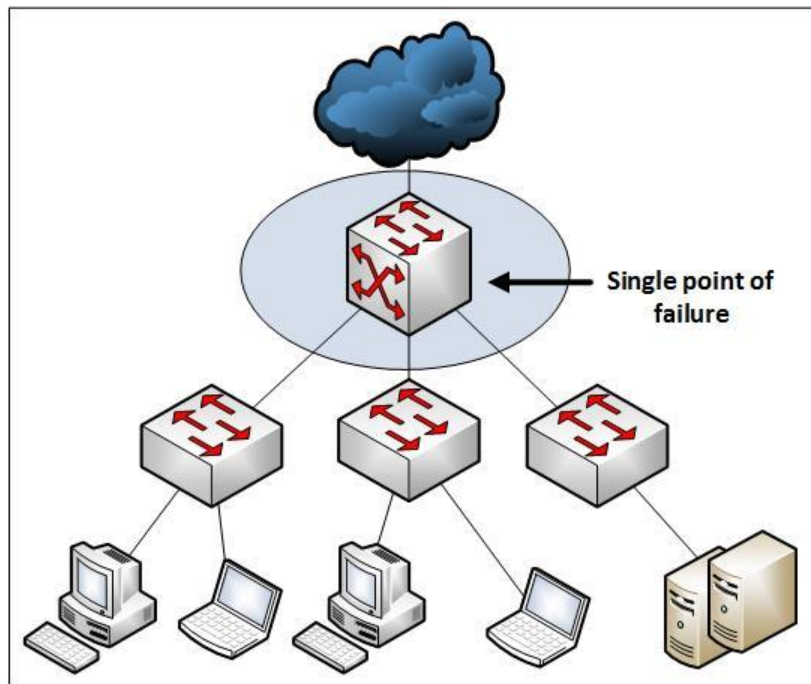
Keskisen sisäverkko olisi ollut periaatteessa mahdollista toteuttaa kokonaan L2-kytkimillä ilman ainuttakaan kalliimpaa L3-kytkintä, mikäli myös työasema-VLANin yhdyskäytävä olisi konfiguroitu palomuurin verkkorajapintaan. Tämä olisi kuitenkin todennäköisesti saanut palomuurin resurssit loppumaan jo vuosia sitten laitekannan kasvaessa, joten verkon suorituskyvyn kannalta modulaarinen L3-kytkin on ollut paikallaan keskeisenä aktiivilaitteena. Nykyinen malli on omanlaisensa yhdistelmä perinteistä *"router-on-a-stick"* -menetelmää ja suorituskykyisempää tapaa, jossa VLAN-reititys tapahtuu L3-kytkimellä.

## 2.6 Spanning Tree -toteutus

Aluksi topologia on ollut tyypiltään niin sanottu *"non-redundant 2-tier model"*, jonka STP-juurena toimii yksi modulaarinen L3-kytkin ja muut L2-kytkimet liittyvät siihen. Kyseisessä mallissa verkon toiminta on riippuvainen yhdestä L3-aktiivilaitteesta, mikä

huonontaa vikasietoisuutta merkittävästi. (HP FlexCampus Reference Architecture Guide 2011, 15-16.)

Tätä voidaan kutsua termillä *"single point of failure"*, jossa verkon toiminta on riippuvainen yhdestä kohdasta. Kuviossa 4 on esitetty kyseinen malli.

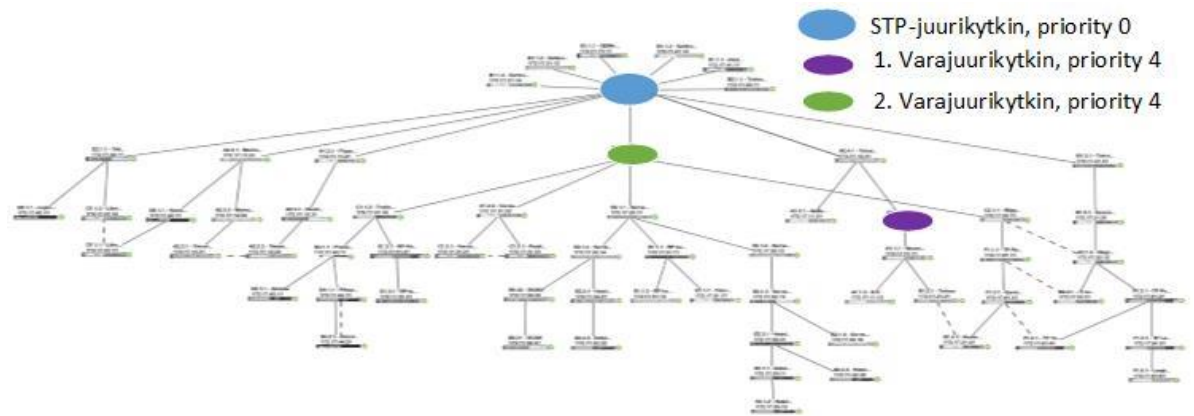


Kuvio 4. Single point of failure

Kyläkaupassa on aikanaan laitettu suorituskykyisin aktiivilaite STP:n juurikytkimeksi, ja silloisen verkkotopologian mukaan valittu vaihtoehtoiset juurikytkimet oikean vikaantuessa. Toimitilojen muututtua moneen kertaan ei entinen ratkaisu enää päde, sillä reitit ulkoverkkoon ja palvelimiin eivät ole juurikytkimiin nähden järkevästi sijoitettuja. Lisäksi ilmeisesti aktiivilaitteiden vaihtuessa on jäänyt alun perin suunniteltu juurikytkinten vaaliprosessi huomiotta, sillä kaksi vaihtoehtoista varajuurikytkintä ovat konfiguroitu samalla prioriteetilla. Tämän takia STP-puun uudelleenlaskennassa MAC-osoitteen arvo ratkaisee vaalit.

Kuviossa 5 on esitetty HP ProCurve Manager-ohjelmistolla saatu kuva fyysisestä topologiasta, joka sisältää yrityksen kaikki kytkimet. Topologia on ikään kuin laajentunut alaspäin kuvion 4 mukaisesta mallista. Liityntäkytkimet ovat monessa kohdassa ketjutettu peräkkäin, jolloin ketjun ensimmäisen kytkimen vikaantuessa loputkin ovat

automaattisesti poissa pelistä. Kuviossa nähdään myös STP-juurikytkinten sijainti fyysisessä topologiassa. Kuvion avulla voi päätellä, kuinka liikennevirrat muuttuvat hallitsemattomasti STP:n juurikytkimen rikkoutuessa.



Kuvio 5. STP:n nykyinen toteutus

Nykyään verkon fyysisen topologian voisi kuvailla olevan jotain *"decentralized"*- ja *"distributed"*-mallien väliltä kauppakylän jatkuvan laajentumisen ja osastomuuttojen seurauksena. Tätä voi nimittää termillä *"multiple point of failure"*.

## 2.7 Laitekanta

Toimeksiantaja käyttää Hewlett-Packardin valmistamia kytkimiä verkossaan. Aktiivilaitteiden ikähaitari on laaja, koska ympäristö sisältää lähes kymmenen vuotta vanhoja laitteita sekä viime vuosien malleja. Vanhimpien kytkimien käyttöjärjestelmät eivät tue uusimpia tarvittavia ominaisuuksia, ja suorituskyky sekä kuituporttien määrä ovat jääneet jälkeen nykyisistä vaatimuksista.

Suurimmassa osassa kytkinkaappeja on tarve PoE-tekniikkaa tukeville liityntäkytkimille langattomien tukiasemien virransyötön mahdollistamiseksi. Johtuen verkon rakenteesta (kuvio 5), nopeasti muuttuvista toimitiloista ja vanhimpien liityntäkytkimien rajallisesta uplink-kuituporttien määrästä (yleensä 2kpl/kytkin), kytkimiä on varsinkin myymälän puolelle sijoitettu työasematarpeeseen nähden liian tiuhaan. Näin ollen tyhjiä portteja on paljon ja porttitiheyden kustannukset ovat turhan korkeat. Kylä-

kaupan liityntäkytkimien kappalemäärä on opinnäytetyötä aloittaessa noin 70, ja niiden vähentäminen kaapelointia järjestelemällä onkin ensisijainen säästökohde uutta verkkorakennetta toteutettaessa ja vanhimmista laitteista luovuttaessa.

Taulukossa 1 näkyy, miten ainoastaan Tavarapuolen toimistotiloihin on sijoitettu liikaa kytkimiä, ja näin ollen käyttämättömiä portteja on suuri määrä.

Taulukko 1. TP-toimistojen/ravintolan kytkinporttien määrät

Kytkin	Liityntäportit lkm	Käytössä	Käyttämättömänä
Kytkin 1	24	18	6
Kytkin 2	24	6	18
Kytkin 3	24	4	20
Kytkin 4	24	16	8
Kytkin 5	24	3	21
Kytkin 6	20	13	7
Kytkin 7	20	8	12
Kytkin 8	48	23	25
Kytkin 9	48	27	21
Kytkin 10	48	12	36
	<b>Yhteensä</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>Yhteensä</b>
	304	130	174

## 3 TEORIA

### 3.1 Hierarkkinen verkko

Hierarkkisessa verkkomallissa on tarkoitus jakaa verkkolaitteiden eri toiminnallisuudet eri tasoihin, mikä mahdollistaa laitevalintojen johdonmukaisuuden kaikille kerroksille ja selkeyttää verkon suunnittelua, hallintaa ja vianetsintää.

Pienimmissä yritysverkoissa voidaan soveltaa yksitasoista verkkomallia, jossa päätelaitteet ja palvelut liittyvät samaan kerrokseen (yhteen tai useampaan kytkimeen). Keskikokoisille ja suurille yrityksille yksitasoinen verkkomalli ei riitä, vaan tarpeesta riippuen vaihtoehtoina ovat kaksi- ja kolmetasoiset verkkomallit.

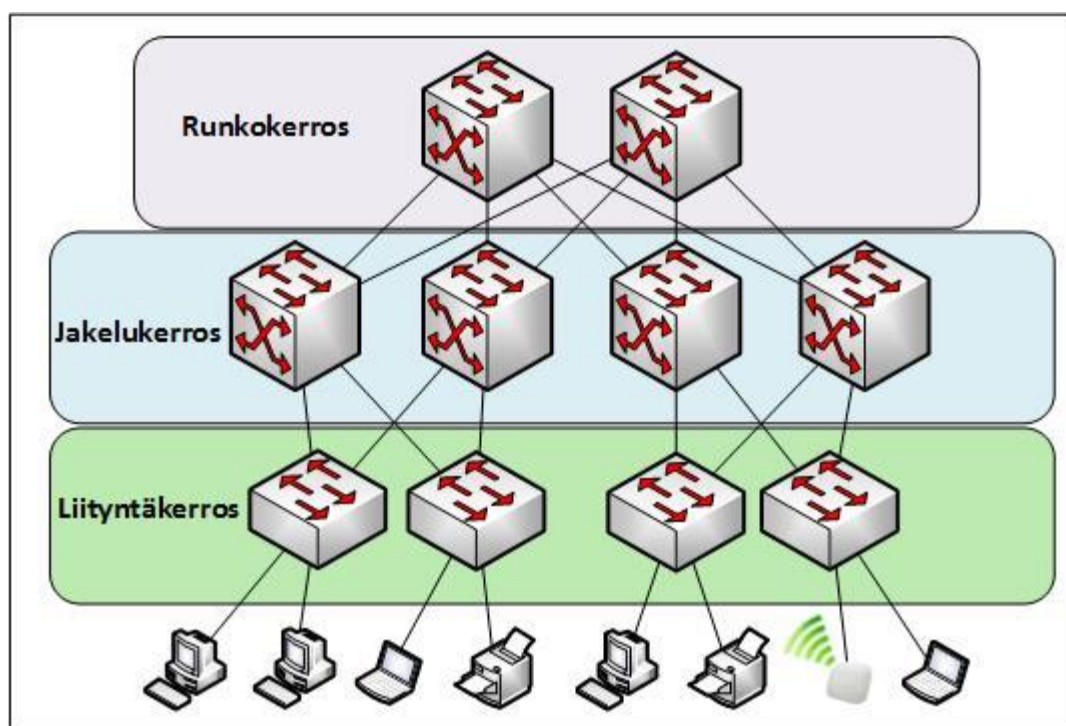
Liityntäkerros (*access layer*) koostuu kytkimistä, joihin päätelaitteet (työasemat, valvontakamerat, tukiasemat jne.) ovat liitetty. Tämä kerros voi toimia pelkästään L2-tasolla, tai tarjota myös IP-reititystä tarpeen mukaan. VLANit ja IGMP kuuluvat liityntäkerrokseen, lisäksi PoE-ominaisuus on yleinen liityntäkerroksen vaatimus. (HP FlexCampus Reference Architecture Guide 2011, 14.)

Mikäli liityntäkytkimiä on suuri määrä ja ne sijaitsevat eri rakennuksissa, ne voidaan liittää keskitetysti verkon ylemmään tasoon – jakelukerrokseen (*distribution/aggregation layer*). Tämä kerroksen kytkimet ovat tyypillisesti suorituskykyisiä, ja ne jakavat jakaa kuormaa tarjoten korkean saatavuuden vikasietoisilla linkkiväleillä ja erilaisilla virtualisointitekniikoilla (esimerkiksi VRRP). Tämä kerros voi segmentoida liityntäkerroksen loogisesti, jolloin se tarjoaa IP-yhdyskäytävän liityntäkerroksen VLANeille. Reititys voidaan toteuttaa tällä kerroksella (monitasokytkentä), ja lisäksi toteuttaa QoS-politiikkoja ja tietoturvaa. (Froom ym. 2010, 29-30.)

Palvelut ja WLAN-kontrollerit voidaan liittää jakelukerrokseen, mikäli se on järkevintä liikennevirtojen kannalta (HP FlexCampus Reference Architecture Guide 2011, 15).

Runkokerros (*core layer*) yhdistää alempien kerroksen verkkosegmentit ja reitittää liikenteen (monitasokytkentä). Runkokerroksen ominaisuuksia ovat korkea suorituskyky, suuri nopeus sekä tehokas toipuminen vikatilanteista. Runkokerroksen tulee myös skaalautua, mikäli alempien kerroksien kytkinten määrä kasvaa. Jakelukytkinten määrän ollessa suuri, runkokerroksen avulla voidaan välttää niiden *full mesh* – kytkentä. (Froom ym. 2010, 31-32.)

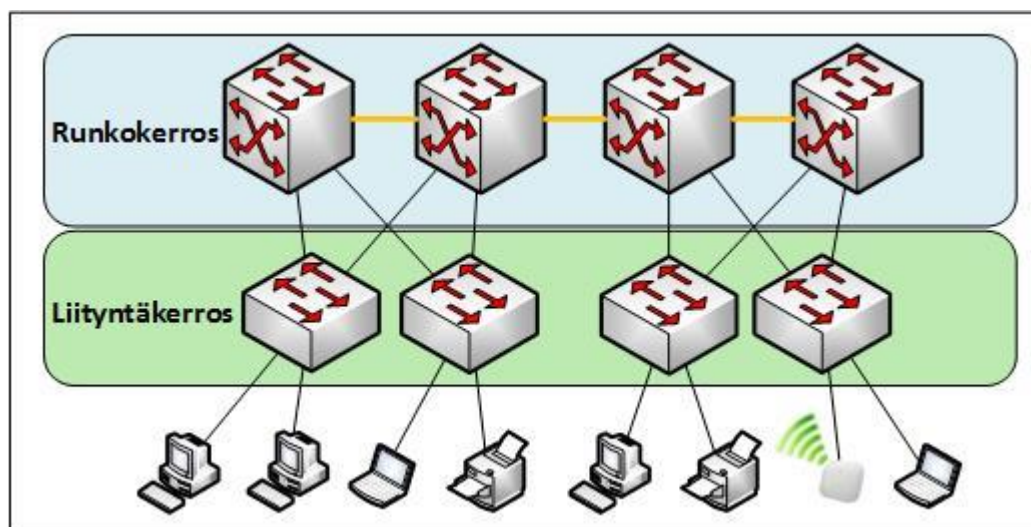
Kuviossa 6 on esitetty 3-tasoinen verkkomalli, jossa kerrokset liittyvät toisiinsa vika-sietoisesti. Malli soveltuu suurille ja maantieteellisesti laajoille verkoille. Saman kerroksen kytkimet voidaan vielä yhdistää toisiinsa eri HA-menetelmillä ympäristöstä riippuen, ja ympäristöjen vaihtelevuus saattaa pitää verkon monimutkaisena. Yksittäisen laiterikon aiheuttama palvelukatko pidetään minimissä redundanttisilla linkeillä, jolloin esimerkiksi jakelukytkimellä on yhteys kahteen eri runkokytkimeen.



Kuvio 6. 3-tasoinen verkkomalli

Kuviossa 7 on esitetty 2-tasoinen verkkomalli. Se on nimeltään ns. *"collapsed core"*, jossa runko- ja jakelukerros ovat sulautuneet yhteen. Jakelu- ja runkokerroksen ominaisuudet ovat nyt yhdellä kerroksella, mikä tekee topologiasta litteämmän ja helpomman hallita. Lisäksi viive pienenee, sillä verkossa on yksi kerros vähemmän.





Kuvio 7. 2-tasoinen verkkomalli

Eri laitevalmistajilla on omat suosituksensa toteutuksiin, ja jopa kilometrien välimatkat salliva kytkinvirtualisointi (esimerkiksi IRF) on uudistanut suunnittelua. Laitteista riippuen jokaisen kerroksen toimintaa voidaan tehostaa esimerkiksi kahdennetuilla virtalähteillä ja UPS:illa.

### 3.2 IEEE 802.1w Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)

Useamman kuin yhden linkin muodostaminen L2-aktiivilaitteiden välille tarvitsee protokollan, joka estää loogisten silmukoiden muodostumisen verkkoon. Tämän tehtävän on hoitanut 802.1D STP ja myöhemmin sen parannetut versiot 802.1w RSTP ja 802.1s MSTP. Näistä RSTP on korvannut STP:n lähes täysin nopeamman ja kehittyneemmän toimintansa ansiosta. RSTP-protokollan idea on edeltäjänsä tapaan estää kytkentäsilmukoiden muodostuminen kytkimien välillä ja ottaa mahdollinen varareitti käyttöön, mikäli toinen vikatilanteessa katkeaa. (Froom ym. 2010, 119-121).

RSTP-protokolla muodostaa verkkotopologiasta puumaisen rakenteen, jonka juurena toimii tietty kytkin. Juurikytkimen suorituskyvyn täytyy olla riittävä, ja sen on hyvä olla sijoitettu loogisesti lähelle palvelimia ja internet-yhdyskäytävää, sillä RSTP-puun "alemmat" kytkimet välittävät liikenteen määritetyn portin kautta kohti juurikytkeä.

RSTP-protokolla asettaa portit johonkin kolmesta tilasta; *discarding*, *learning* tai *forwarding*. Nämä tilat määrittävät, miten portti vastaanottaa kehyksiä ja välittääkö se niitä eteenpäin. Portti kuitenkin välittää BPDU-kehyksiä riippumatta tilasta.

- *Discarding*: Estää datakehysten välittämisen eteenpäin ja täten katkaisee L2-silmukan verkossa. Portteja on tässä tilassa sekä vakaassa topologiassa että topologian uudelleenlaskennan, eli synkronoinnin, aikana verkon muutostilanteissa
- *Learning*: Portti hyväksyy datakehyksiä rakentaakseen MAC-taulua, jotta tuntemattomien unicast-kehysten määrä pieneneisi. Tämä tila on käytössä sekä synkronoinnissa että vakaassa topologiassa
- *Forwarding*: Portti välittää datakehyksiä eteenpäin, ja näin ollen nämä portit määrittelevät topologian. Käytössä vain vakaassa topologiassa, sillä muutostilanteissa ja synkronoinnissa liikenteenvälitys jatkuu vasta porttien neuvoteltua omat roolinsa. (Froom ym. 2010, 126.)

Porttien roolit RSTP-protokollassa määrittävät portin lopullisen tarkoituksen. RSTP-protokollassa porttien tilat ja roolit voivat vaihtua vaikuttamatta toisiinsa. Porttien roolit ovat seuraavat:

- *Root*: Portti, joka välittää liikenteen kohti juurikytkintä. Tästä portista on lyhyin matka juurikytkimeen. Ainoastaan yksi *root*-portti voi olla aktiivisena
- *Designated*: Tämä portti vastaanottaa liikenteen, joka on osoitettu lyhyimmän polun kautta kohti juurikytkintä. Porttiin saapuva liikenne välitetään *root*-porttiin. *Designated*-portin kautta liikenne välitetään myös STP-puuta alas päin kohti verkkosegmentin muita laitteita. Portti on *forwarding*-tilassa
- *Backup*: Portti, josta on redundanttinen reitti kohti juurikytkintä *root*-portin rinnalla. Vakaassa topologiassa portti on *discarding*-tilassa. Käytössä kytkimillä, jotka vastaanottavat liikennettä *designated*-portista.
- *Alternate*: Vaihtoehtoinen reitti kohti juurikytkintä, kulkee eri kautta kuin *root*-portin linkki. Vakaassa topologiassa portti on *discarding*-tilassa, ja siirtyy *forwarding*-tilaan ensisijaisen *root*-portin reitin vikaantuessa. Tämä on käy-

tössä kytkimillä, jotka ovat STP-puussa ”alimmaisena”, eli niillä ei ole *designated*-porttia, jota pitkin välittää liikennettä edelleen alaspäin STP-puussa

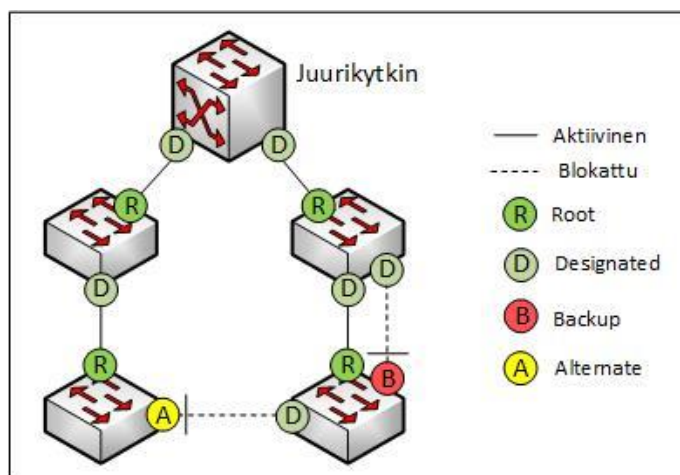
- *Disabled*: Portti, joka ei osallistu Spanning Treen operaatioihin. (Froom ym. 2010, 127-128.)

Yksi kytkin valitaan RSTP-puun juurikytkimeksi konfiguroimalla sille pienin mahdollinen prioriteettiarvo (0). Halutuille varajuurikytkimille konfiguroidaan siitä seuraavaksi pienin prioriteettiarvo, jolloin oikean juuren vikaantuessa siitä tulee uusi juurikytkin. Prioriteettien tasatilanteessa se kytkin voittaa vaalit, jonka MAC-osoite on pienin. (Froom ym. 2010, 122.)

Seuraavaksi protokolla valitsee muille verkkosegmentin L2-aktiivilaitteille *root*-portin, josta on lyhyin matka ja pienin *cost*-arvo kohti juurikytkintä. Mikäli *cost*-arvo on yhtenevä jonkin toisen portin kanssa, valitaan *root*-portiksi rajapinta, jonka porttinumero on pienin. (Froom ym. 2010, 127.)

Protokollan täytyy vielä valita *designated*-portti, joka toimii alempana STP-puussa sijaitseville laitteille lyhimpänä polkuna kohti juurikytkintä. Valintaan vaikuttaa jälleen linkin *cost*-arvo, pienin arvo voittaa. (Froom ym. 2010, 127.)

Kuviossa 8 on esitelty yksinkertainen RSTP-topologia ja porttien roolit toisiinsa nähden.



Kuvio 8. RSTP porttien roolit

Taulukossa 2 on RSTP:n oletuksena määritetyt *cost*-arvot kullekin Keskisen verkko-ympäristössä esiintyvälle linkkinopeudelle (mukaan luetaan myös tuleva 10Gbps). Näitä oletusarvoja muuttamalla voidaan vaikuttaa RSTP-puun muodostamiseen, jolloin voidaan valita haluttu reitti liikenteelle.

Taulukko 2. RSTP cost-arvot

Linkin nopeus	RSTP Cost
10 Mbps	2 000 000
100 Mbps	200 000
1 Gbps	20 000
10 Gbps	2 000

RSTP:n ongelmaksi on muodostunut nykypäivän kriittisten reaaliaikasovellusten kannalta liian hidas palautumiskyky esimerkiksi laiterikon tai valokuidun katkeamisen jälkeen. Katkot esimerkiksi VoIP-liikenteessä aiheuttavat häiriöitä liiketoiminnalle. Lisäksi kärjistäen puolet kaistanopeudesta valuu hukkaan, sillä RSTP sallii vain yhden aktiivisen linkin kerrallaan, jolloin varayhteydet ovat *blocked*-tilassa.

### 3.3 Inter-VLAN Routing

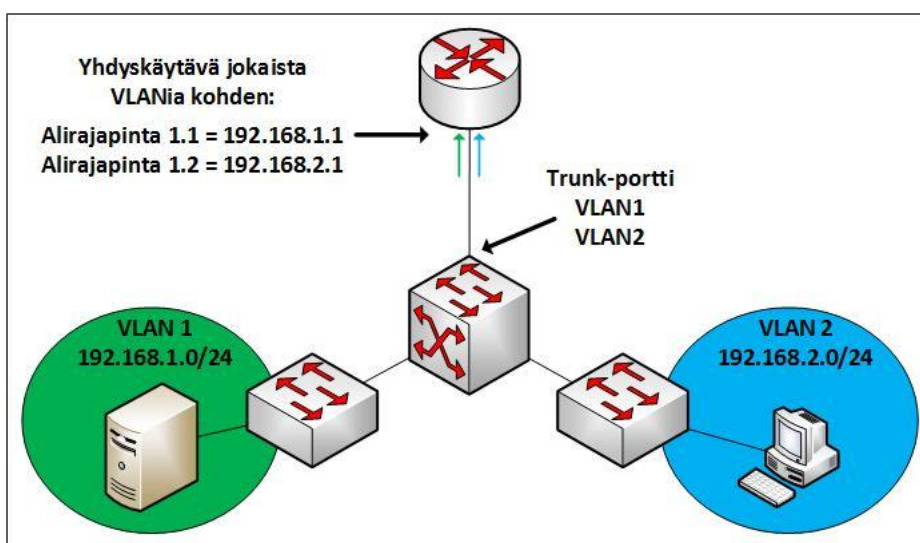
#### 3.3.1 Yleistä

VLANit rajoittavat broadcast-liikenteen omaan virtuaaliseen lähiverkkoonsa, useimmiten käytetään yhtä IP-aliverkkoa per VLAN. Päätelaitteet saavat osoitteensa VLANin aliverkosta ja löytävät toisensa kytkimien ARP-kyselyjen ja MAC-tilujen tietojen perusteella. Tämä L2-toiminnallisuus ei kuitenkaan riitä, kun päätelaitteiden täytyy kommunikoida toisessa VLANissa sijaitsevien päätelaitteiden kanssa. (Froom ym. 2010, 184.)

VLANien välinen reititys vaatii L3-tason laitteen, joka osaa reitittää liikennettä IP-paketin otsikkotietojen avulla. Seuraavissa luvuissa esitellään Keskisen ympäristön kannalta olennaiset kaksi tapaa toteuttaa VLAN-reititys.

### 3.3.2 Router-on-a-stick

Mikäli verkko koostuu ainoastaan L2-tason kytkimistä, täytyy käyttää erillistä laitetta reitittimenä. Tämä laite voi olla ”oikea” reititin, reitittimenä toimiva palvelin tai L3-tason kytkin. Kuviossa 9 on esitetty perusskenaario, jossa kahden eri VLANin työase-  
man täytyy voida kommunikoida keskenään. Kuviossa reitittimen fyysinen portti jae-  
taan loogisiin alirajapintoihin, joille annetaan IP-osoite VLANia kohden. Nämä aliraja-  
pinnat toimivat VLANien IP-yhdyskäytävinä.



Kuvio 9. Router-on-a-stick

Keskuskytkin välittää toiseen VLANiin osoitetut kehykset reitittimelle trunk-porttia pitkin. Reititin vastaanottaa kehyksen 802.1Q-tagin perusteella oikeaan alirajapintaan, suorittaa L3-reitityspäätöksen kohdeverkon osoitteen perusteella, lisää oikean VLAN-tagin ja lähettää paketin oikeaa alirajapintaa pitkin keskuskytkimelle. Tämä välittää paketin kohteeseen kytkentätaulukojen perusteella.

Router-on-a-stick tarjoaa yksinkertaisen tavan reitittää VLANien välinen liikenne. Se mahdollistaa myös kalliimpien L3-kytkimien hankinnasta luopumisen, mikä tosin ei ole suositeltava vaihtoehto nykypäivän vaatimuksiin johtuen huonommasta vika-sietoisuudesta ja suorituskyvystä. Kuvion 9 kaltainen topologia ei myöskään vaadi paljoa konfigurointia ja vianetsintä on helpompaa, sillä reitittimeltä on käytössä ai-

noastaan yksi fyysinen portti ja työasemien VLAN-liikenne välitetään keskuskytkimen yhtä trunk-porttia pitkin kanssa. (Froom ym. 2010, 186-189.)

Menetelmässä on kuitenkin vakavia puutteita, sillä ilman VRRP:n kaltaista ratkaisua reititin on *single point of failure*. Lisäksi reitittimen portti rajoittaa trunk-linkin nopeutta, reititysnopeus on ohjelmistopohjaista ja viive kasvaa kehyksien liikkua kytkeinverkon ulkopuolelle ja takaisin. (Froom ym. 2010, 190.)

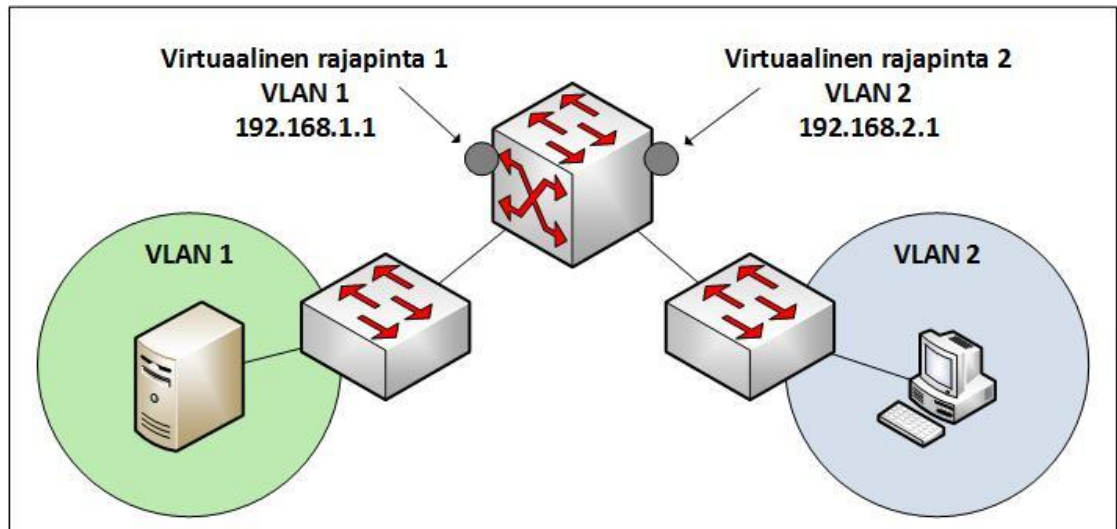
### 3.3.3 Monitasokytkentä

Nykyään VLAN-reititys sisäverkoissa pyritään toteuttamaan ohjelmistopohjaisten reitittimien sijaan suorituskykyisillä L3-tason kytkimillä. Terminä on MLS eli *multilayer switching*.

*Multilayer switch* on kytkin, joka kykenee L2-tason lisäksi käsittelemään myös L3/L4-tason paketteja. Yleisimmin tällä tarkoitetaan kytkimen rautatasolla tapahtuvaa IP-pakettien reitittämistä. Nämä aktiivilaitteet ovat L2-kytkimiä kalliimpia, joten keski- ja suurissa yrityksissä ne sijoitetaankin verkon keskeisiin kohtiin. Hierarkkisessa verkkotopologiassa tämä tarkoittaa jakelu- ja runkokerrosta, jolloin L2-toiminnallisuus ja STP rajataan ainoastaan alemmalle liityntäkerrokselle. Esimerkiksi Cisco suosittelee reitittämisen toteuttamisen jakelu- tai runkokerroksella 3-tasoisessa mallissa. Tällä tavoin liityntäkerroksen VLANit terminoidaan ylemmän kerroksen kytkimeen, ja estetään liityntäkerroksen verkko-ongelmien leviäminen. (Froom ym. 2010, 190-192.)

Reititys tapahtuu kytkimen raudassa nopeudella, joka vastaa kytkemisen nimellisuutta. Reititykseen osallistuvina verkkorajapintoina käytetään kytkimeen konfiguroitavia virtuaalisia rajapintoja, lyhyemmin *SVI (Switch Virtual Interface)*. Reititettävää VLANia kohden luodaan yksi SVI, jolle annetaan IP-osoite VLANin aliverkosta. Virtuaalinen portti ei siis vaadi fyysistä porttia, tarjoaa saman L3-toiminnallisuuden kuin oikeakin reititinportti ja sitä voidaan konfiguroida hyvin pitkälti samoin (IP-osoite, pääsilystat). Lisäksi virtuaalinen portti ei ole yhtä vikaantumisherkkä kuin oikea, eli se pysyy käytännössä toiminnassa niin kauan kuin itse kytkin. (Froom ym. 2010, 191.)

Kuviossa 10 on havainnollistettu kahden VLANin virtuaaliset L3-rajapinnat reitittävässä kytkimessä.



Kuvio 10. Inter-VLAN Routing

L3-tason kytkimen korkeampaa hintaa lukuun ottamatta SVI:n hyödyntäminen tarjoaa ainoastaan hyvä puolia perinteiseen *router-on-a-stick* –menetelmään verrattuna:

- Rautapohjainen reititys on nopeampaa kuin sovelluspohjainen
- Ei tarvetta fyysisille rajapinnoille, koska reititys tapahtuu kytkimessä. Tämä myös pienentää viivettä
- Porttikanavien käyttäminen on mahdollista, jolloin nopeus ei rajoitu yhden portin kaistanopeuteen. (Froom ym. 2010, 192.)

Selkeyden vuoksi SVI on hyvä nimetä sen VLANin mukaan, jonka IP-yhdyskätävänä se toimii. SVI:n luominen itsessään ei luo VLANia kytkimeen, vaan se on tehtävä erikseen.

## 3.4 Intelligent Resilient Framework (IRF)

### 3.4.1 Toimintaperiaate

Kuten palvelimissa, myös aktiivilaitteissa hyödynnetään nykyään virtualisointia. Palvelimissa virtualisoinnin tarkoituksena on jakaa yksi fyysinen rauta usealle virtuaaliselle palvelimelle. Aktiivilaitteiden virtualisoinnissa pyritään esittämään useampi fyysinen resurssi yhtenä loogisena laitteena. Aina viime vuosiin asti esimerkiksi VRRP-tekniikka (ja sen valmistajakohtaiset versiot) on ollut hyvin suosittu verkon kriittisten L3-laitteiden vikasietoisuuden saavuttamiseksi, ja L2/L3-kytkimiä on pyritty kahdentamaan eri valmistajien omilla pinoamistekniikoilla. Näillä pyritään poistamaan verkotopologiasta jokainen *single point of failure*.

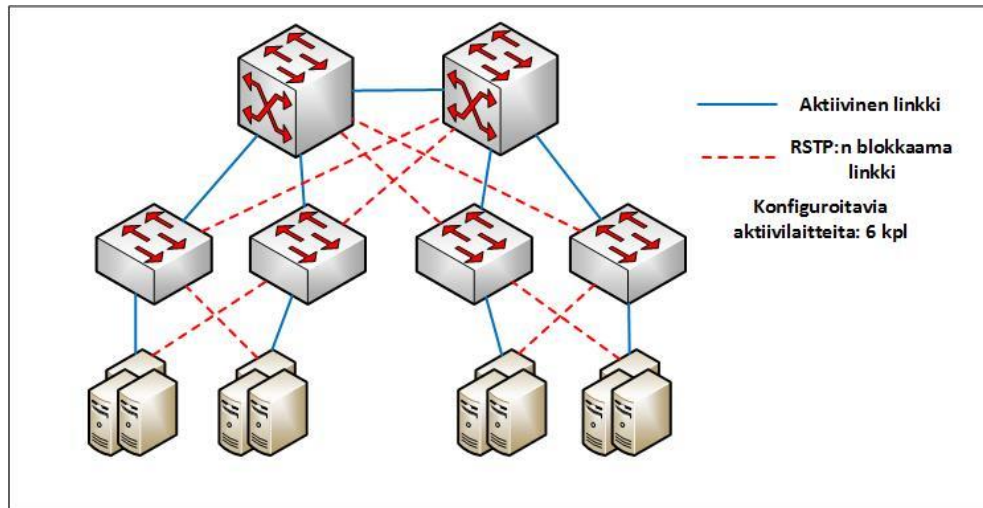
HP:n valmistajakohtainen tekniikka IRF muodostaa useasta eri kytkimestä yhden loogisen kytkimen, jolloin eri kytkimet näkyvät verkossa yhtenä laitteena. Tämä yksinkertaistaa topologiaa helpottaen verkon suunnittelua ja myös hallintaa, sillä IRF-kytkintä hallitaan yhdellä näkymällä minkä tahansa jäsenkytkimen kautta. Koska IRF-linkkeihin käytetään standardeja kuituoptiikoita, kytkimien virtualisointi voidaan veyntää verkon reunalta reunalle ja IRF-linkkien pituudet riippuvat vain käytettävien optiikoiden ja kuitukaapeleiden rajoituksista. Näin ollen jäsenkytkinten ei tarvitse sijaita samassa laiteilassa, ja tämä puolestaan lisää joustavuutta verkon suunnitteluun ja kehitykseen. (HP IRF White Paper 2010, 3.)

Jäsenkytkimet varmistavat toinen toisiaan redundanttisin linkein, jolloin looginen IRF-kytkin pysyy tavoitettavissa mahdollisimman hyvin. IRF-kytkimen porttimäärää, kaistanopeutta, läpivientikykyä ja prosessoritehokkuutta voidaan kasvattaa yksinkertaisesti lisäämällä uusi kytkin IRF-domainiin. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 4.)

IRF-domain voidaan liittää toiseen IRF-domainiin tai aktiivilaitteeseen käyttäen standardia LACP-porttikanavaa. IRF-domain voidaan siis yhdistää myös toisen laitevalmistajan aktiivilaitteisiin, myös esimerkiksi Ciscon VSS-kytkinpariin. IRF-domainit voivat myös varmistaa toisiaan käyttäen VRRP-tekniikkaa.

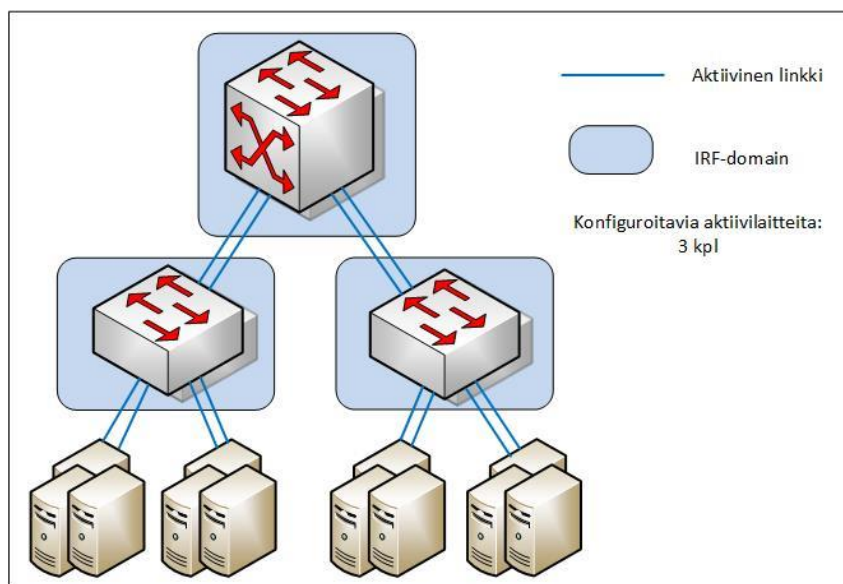


Kuviossa 11 on esitetty tilanne, jossa kytkinten välillä on kahdennetut hajautetut linkkivälit. Ilman mitään pinoamistekniikoita RSTP sulkee toisen linkin estäen silmukan muodostumisen, ja täten karkeasti ottaen puolet kaistanleveydestä jää käyttämättä.



Kuvio 11. RSTP-verkkotopologia

Kuviossa 12 on esitetty sama tilanne, mutta nyt kytkimet ovat virtualisoitu IRF-tekniikalla kolmeksi eri IRF-domainiksi. Kaikki käytetyt linkkivälit ovat aktiivisessa käytössä, linkkivälin katkeamisesta toipuminen on nopeaa, konfiguroitavien laitteiden määrä on vähentynyt ja topologia on yksinkertaisempi.



Kuvio 12. IRF-verkkotopologia

HP lupaa linkkivälin katkeamisesta toipumisen tapahtuvan alle 50 millisekunnissa, joskin virallisissa mittauksissa on päästy huomattavasti nopeampiin tuloksiin. (Networktest HP IRF Performance Assessment 2011, 2.)

IRF-domainilla voi olla samaan aikaan 16 VTY-linjan käyttäjää, ja jokaisen jäsenkytkimen konsoliportissa voi olla yhtä aikaa käyttäjä kiinni. (HP 5830 Switch Series IRF Configuration Guide 2013, 18.)

### 3.4.2 Kytkimien roolit ja tunnisteet

Kytkimet tunnistavat toisensa "*member ID*" -arvon perusteella. Arvo on konfiguroitava numero, ja jokaisella jäsenkytkimellä tulisi olla eri ID, jotta päällekkäisyyksiä ei tulisi. Member ID:tä käytetään myös rajapintojen nimissä sekä kytkimien tietojärjestelmien nimeämiseen ja tunnistamiseen. Oletuksena ID on 1. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 16.)

"*Domain ID*" on jokaiseen jäsenkytkimeen konfiguroitava arvo, jolla tunnistetaan mihin virtuaaliseen IRF-instanssiin kytkin kuuluu. Vaikka kahdella eri Domain ID:llä konfiguroidut kytkimet voivatkin yhdessä muodostaa virtuaalisen IRF-kytkimen, HP suosittelee saman domain ID:n käyttämistä saman IRF-domainin jäsenkytkimissä. "MAD LACP" -tekniikka vaatii jokaisella eri IRF-domainin käyttävän eri domain ID -arvoa toimiakseen oikein. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 14.)

IRF-domainin jäsenkytkimillä on kaksi eri roolia; *master* ja *slave*. Kun kytkimet muodostavat IRF:n, ne valitsevat joukostaan master-kytkimen. Tämä kytkin hallitsee IRF-domainia, ja muut kytkimet varmistavat sitä. Mikäli master-kytkin poistuu IRF-domainista, muut kytkimet valitsevat välittömästi uuden master-kytkimen. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 6.)

Virtuaalisen IRF-kytkimen "*bridge MAC address*" on aina muodostettu master-kytkimen MAC-osoitteesta. Tämän avulla IRF-domain L2-protokollat, kuten MSTP ja LACP, tunnistavat IRF-domainin verkossa. Tämän MAC-osoitteen perusteella gene-

roidaan myös MAC-osoitteet kytkimen L3-rajapinnoille. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 20.)

IRF-domainin konfiguraatiomuutokset tallentuvat master-kytkimeen ja ne synkronoidaan reaaliajassa muihin jäsenkytkimiin. Kun kytkin on toiminnassa, se käyttää *"running configuration"*-tiedostoa, mihin tehdyt muutokset tallentuvat. Käynnistyessään kytkin käyttää *"startup configuration"*-tiedostoa, johon konfiguraatiomuutokset tallennetaan komennolla *"save"*. Tämäkin tapahtuu master-kytkimellä, jonka jälkeen muutos tallentuu välittömästi myös muihin jäsenkytkimiin. (HP 5830 Switch Series IRF Configuration Guide 2013, 6.)

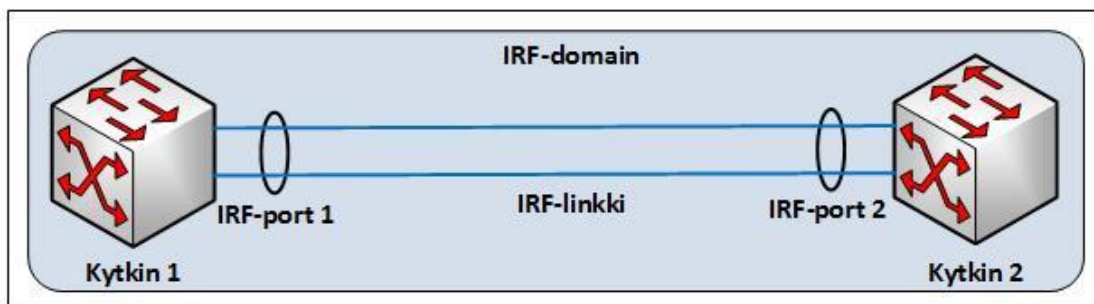
### 3.4.3 IRF-linkki jäsenkytkinten välillä

Jotta kytkimet voisivat muodostaa IRF:n, täytyy niiden välillä olla IRF-linkki, ja sen muodostamiseen tarvitaan erityiset rajapinnat.

Jokaisella jäsenkytkimellä on kaksi IRF-porttia: IRF-port 1 sekä IRF-port 2. Nämä ovat loogisia portteja, joita muodostavat IRF-linkin samassa IRF-domainissa sijaitsevien kytkinten välillä. Näihin loogisiin portteihin *"sidotaan"* vähintään yksi fyysinen IRF-portti, että jäsenkytkimet voidaan yhdistää kuitu- tai kuparikaapelilla. IRF-linkki voi koostua korkeintaan neljästä fyysisestä portista, jolloin IRF-linkki on redundanttinen ja kuorma jakautuu eri porttien kesken. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 6.)

Fyysinen IRF-portti on kupari- tai kuituportti, jota looginen IRF-portti käyttää IRF:n protokollapakettien sekä dataliikenteen välittämiseen jäsenkytkinten välillä. Mikäli IRF-linkki koostuu useammasta kuin yhdestä fyysisestä IRF-portista, ne tasaavat kuormaa keskenään. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 6.)

IRF-linkin muodostamisessa täytyy ottaa huomioon, että ensimmäisen jäsenkytkimen looginen IRF-port 1 täytyy yhdistää toisen jäsenkytkimen porttiin IRF-port 2. Kuviossa 13 on esitelty, miltä kahden fyysisen portin IRF-linkki näyttää verkkotopologiassa. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 9.)



Kuvio 13. IRF-linkki

Looginen IRF-portti pysyy ylhäällä niin kauan, kuin sillä on vähintään yksi toimiva fyysinen IRF-portti. Näin ollen IRF-linkki toimii kuin porttikanava. Toteutuksissa on hie-  
man eroja kytkinmallien välillä, sillä esimerkiksi 5820X-24XG-SFP+ -mallissa voi IRF-  
porttiin liittää fyysisiä portteja eri linjakorteista. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF  
Configuration Guide 2012, 8.)

### 3.4.4 Fyysisten rajapintojen nimet

IRF:n jäsenkytkinten rajapintojen nimet ovat muotoa "*member ID / linjakortin nume-  
ro / portin numero*". Member ID on konfiguroitava arvo, ja linjakortin numero ilmai-  
see, onko kyseessä kiinteä etupaneelin portti vai jokin lisälinjakortin porteista. Esi-  
merkiksi HP:n 5800-ja 5820X-sarjan kytkimissä etupaneeli käyttää numeroa 0. Kolmas  
määre, eli portin numero, on itse rajapinta, mihin liitetään ethernet-kaapeli tai kui-  
tuoptiikka. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 11.)

Esimerkiksi IRF-pinon jäsenkytkimen, jonka *member ID* on 3, etupaneelissa sijaitseva  
1GbE-portti numero 16 on komentorivillä nimeltään "*GigabitEthernet3/0/16*". Niin  
loogisille kuin fyysisillekin rajapinnoille voi antaa myös kuvaavan nimen, mikä helpot-  
taa hallintaa.

### 3.4.5 IRF-domainin muodostaminen

Jäsenkytkimillä ei ole aluksi tiedossaan kuin paikallinen topologia, joka pitää sisällään  
omiin portteihin liitetyt naapurit. Kun kytkimen looginen IRF-portti aktivoituu, kytkin  
alkaa lähettää kyseisestä portista IRF hello-paketteja naapurikytkimelleen, ja samalla  
vastaanottaa naapurikytkimen hello-paketit. Nämä hello-paketit sisältävät kytkinten

paikalliset topologiatiedot, ja kytkimet päivittävät omat topologiatietonsa niiden mukaan. Hello-paketit pitävät sisällään myös kytkimen member ID:n, IRF-porttien tilat, priority-arvot ja MAC-osoitteet. Kun kaikilla jäsenkytkimillä on tiedossaan täydellinen topologia (terminä *topology convergence*), IRF-domain siirtyy seuraavaan vaiheeseen: master-vaaleihin. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 10.)

Master-kytkimen valinnan jälkeen vaaleissa hävinneet kytkimet käynnistyvät automaattisesti uudestaan liittyäkseen IRF-domainiin slave-kytkiminä, sekä lataavat ja suorittavat samalla master-kytkimen voimassa olevan konfiguraatietiedoston. Tässä vaiheessa myös kytkimen ohjelmistoversio päivittyy, jos se oli eri kuin master-kytkimellä. Mikäli IRF-domainin jokainen kytkin käynnistyy uudestaan yhtä aikaa, muut jäsenkytkimet hakevat ja suorittavat master-kytkimen tallennetun ”*startup configuration*”-tiedoston. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 10.)

### 3.4.6 Master-kytkimen valinta

Master-vaalit pidetään aina, kun topologia muuttuu. Näitä tilanteita ovat IRF-kytkimen luominen, uuden jäsenkytkimen lisääminen, master-kytkimen poistuminen domainista tai *IRF merge*. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 10.)

Master-kytkimen valinnassa yhtenä perusteena käytetään *priority*-arvoa, joka konfiguroidaan jokaiseen jäsenkytkimeen erikseen (oletusarvo on 1, ja suurin mahdollinen arvo on 32). Tällä voidaan vaikuttaa vaalien lopputulokseen, ja täten ennalta ohjata IRF:n toimintaa ongelmatilanteissa halutulla tavalla. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 10.)

Master-kytkimeksi valitaan laite seuraavien sääntöjen mukaan, seuraavanlaisessa järjestyksessä:

- Nykyinen master-kytkin säilyy silloinkin, kun IRF-domainiin liitetään suuremmalla prioriteetilla konfiguroitu kytkin. IRF-domainia muodostettaessa jokai-

nen kytkin pitää itseään master-kytkimenä, joten valinnassa siirrytään suoraan seuraavaan kohtaan

- Kytkin, jolla on korkein *priority*-arvo
- Kytkin, jonka uptime-arvo on suurin. Jäsenkytkimet vaihtavat uptime-tietoja IRF hello –viesteissä
- Kytkin, jolla on pienin MAC-osoite. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 10.)

### 3.4.7 Topologian ylläpito ja toiminta vikatilanteissa

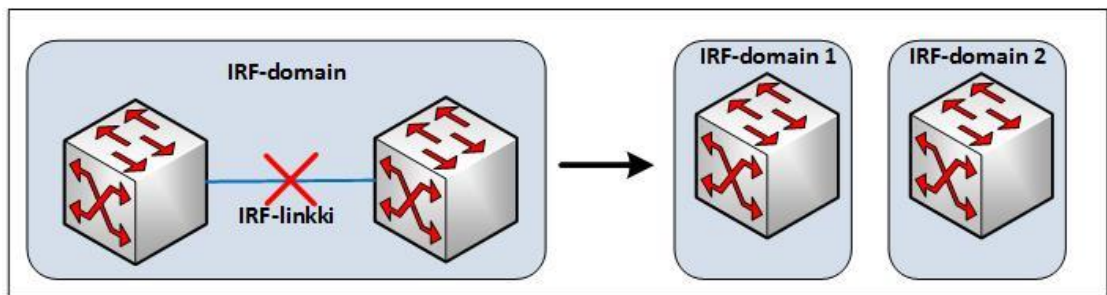
Jos jäsenkytkin katoaa jostain syystä verkosta, sen naapurikytkimet ilmoittavat tapahtumasta välittömästi broadcast-viesteinä muille jäsenkytkimille. Kun jäsenkytkin saa tiedon kytkimen katoamisesta, se tarkistaa IRF-topologiatiedoistaan oliko kadonnut jäsen master-kytkin. Mikäli oli, kytkin järjestää IRF-domainiin uudet master-vaalit ja päivittää sekä jakaa topologiansa lopputuloksen mukaan. Mikäli kadonnut jäsen ei ollut master-kytkin, muut kytkimet ainoastaan päivittävät ja jakavat muuttuneet IRF-topologiatietonsa. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 12.)

Lisättäessä uusi jäsenkytkin IRF-domainiin, se tarkistaa master-kytkimen käyttöjärjestelmän ja päivittää omansa sen mukaiseksi. Mikäli domainin kaikkien kytkinten käyttöjärjestelmä on päivitettävä, on siihen hyvä käyttää *In-Service Software Upgrade* –menetelmää (ISSU). Sen avulla IRF:n käyttöjärjestelmä voidaan päivittää ilman, että koko domain pitäisi käynnistää uudelleen yhtä aikaa. Tällä varmistetaan liikenteenvälityksen jatkuvuus ja palvelujen saatavuus. Rengastopologia on välttämätön ISSU:n käyttöä varten. (HP 5820X & 5800 Switch Series Fundamentals Configuration Guide 2013, 138-139.)

Looginen IRF-kytkimen Bridge MAC -osoite muodostuu master-kytkimen MAC-osoitteesta. Mikäli master-kytkin häviää domainista, Bridge MAC –osoite säilyy samana oletusarvoisesti 6 minuuttia, kunnes se vaihtuu uuden master-kytkimen MAC-osoitteeksi. Tämä asetus tulee ottaa huomioon MAD-tekniikkaa valittaessa. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 20.)

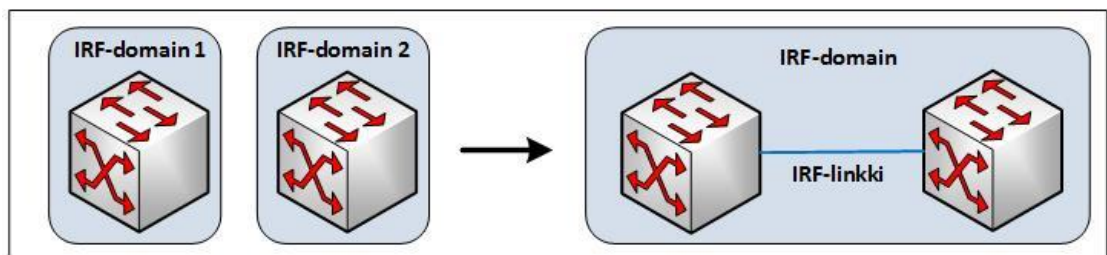
### 3.4.8 IRF partition ja IRF merge

“IRF partition” tarkoittaa tilannetta, jossa IRF-domainin jäsenkytkinten välinen linkki katkeaa ja domain hajoaa eri osiin. Tämä tunnetaan myös niin sanottuna *“split”*-tilanteena. Tilanne havainnollistetaan kuviossa 14, jossa IRF-linkin hajottua verkkoon muodostuu kaksi asetuksiltaan samanlaista virtuaalista IRF-kytkintä. Nämä molemmat domainit käyttävät edelleen samoja L3-asetuksia, kuin ennen linkin katkeamista (esimerkiksi samaa IP-osoitetta). Tämä aiheuttaa reititys- ja liikenteenvälitysongelmia verkkoon. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 6.)



Kuvio 14. IRF partition

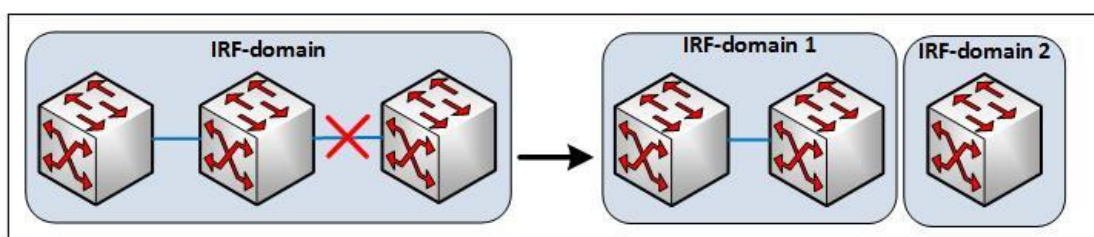
“IRF merge”-tilanne tapahtuu, kun kaksi aikaisemmin hajonnutta domainia yhdistyvät jälleen, tai kaksi erillistä domainia konfiguroidaan yhdeksi IRF-domainiksi. Merge-prosessin alussa kytkimien välillä on master-vaalit, ja vaaleissa hävinneet kytkimet käynnistyvät automaattisesti uudestaan liittyäkseen (uuden) master-kytkimen IRF-domainiin. Tämä on esitetty kuviossa 15. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 6.)



Kuvio 15. IRF merge

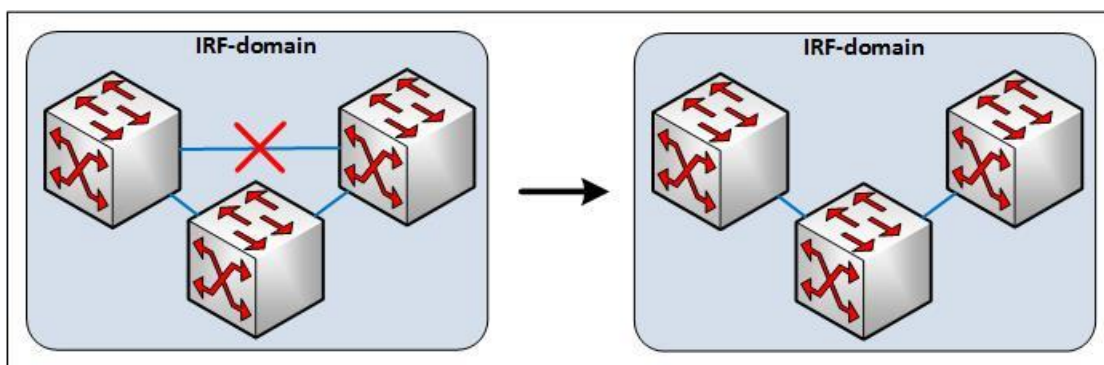
Mikäli fyysisiä IRF-jäsenkytkimiä on enemmän kuin kaksi, ensimmäinen askel *split*-tilanteen välttämiseen on muodostaa kytkimistä rengastopologia niin sanotun *“daisy*

*chain*” – topologian sijaan. Rengastopologiassa yhden linkkivälin katkeaminen ei vielä saa aikaan domainin hajoamista osiin, vaan ainoastaan topologian muuttumisen *daisy chain* -malliksi ja mahdollisesti uudet master-vaalit. Kuviossa 16 on havainnollistettu yhden linkkivälin vikaantuminen kolmen jäsenkytkimen IRF-domainissa, jonka kytkimet muodostavat *daisy chain* -topologian. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 5.)



Kuvio 16. IRF partition "daisy chain"-topologiassa

Kuviossa 17 taas on kolmen jäsenkytkimen IRF-domain, joka muodostaa rengastopologian.



Kuvio 17. IRF partition rengastopologiassa

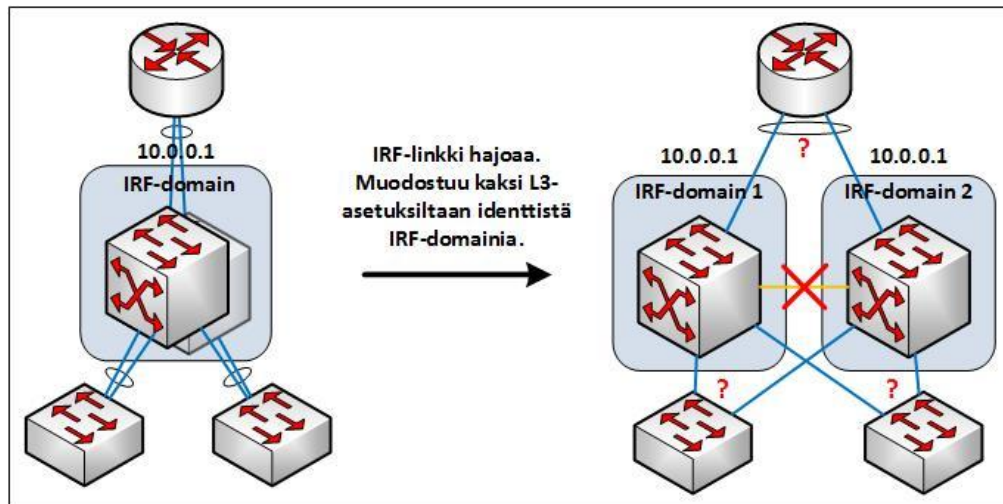
## 3.5 Multi-Active Detection (MAD)

### 3.5.1 Toimintaperiaate

IRF-domainin *split*-tilanteessa ongelmana on kaksi yhtäaikaista L3-asetuksiltaan samanlaista domainia, ja tähän ongelmaan on kehitetty Multi-Active Detection – tekniikka. Sen tehtävänä on tunnistaa erilliset domainit (*IRF partition* –tilanteessa),

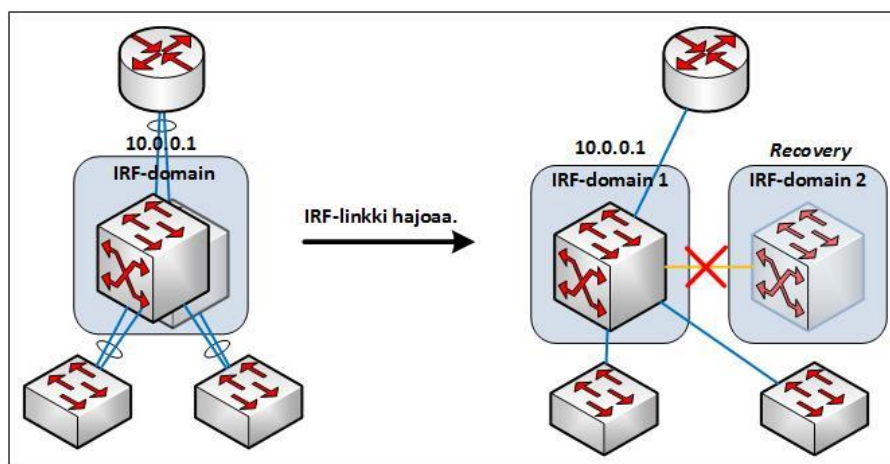


eristää toinen domain verkosta ja täten varmistaa tietoliikenteen oikeanlainen reititys ja välitys verkossa. Split-tilanne ja sen aiheuttamat liikenteenvälitysongelmat ovat esitetty kuviossa 18. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 12.)



Kuvio 18. IRF *split*-tilanteen vaikutus liikenteen välitykseen

Edellisen kuvion tilanteen jälkeen MAD asettaa toisen domainin *Recovery*-tilaan, jolloin kaikki sen liityntäportit suljetaan, lukuun ottamatta konsoliporttia, MAD-portteja ja IRF-linkkiä. Rajapintoja on mahdollista jättää MAD:n ulkopuolelle myös manuaalisesti. Tällöin verkkoliikenne kulkee ainoastaan toisen IRF-domainin kautta, ja verkkoliikenteen välitys jatkuu ongelmitta. Tilanne on esitetty kuviossa 19. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 13.)



Kuvio 19. MAD-toimintaperiaate ja "recovery"-tila

Kun IRF-linkki saadaan toimintaan, tapahtuu *IRF merge* ja IRF toimii jälleen normaalisti.

MAD:n toteutuksesta on kolme eri versiota: LACP MAD, BFD MAD ja ARP MAD. Näistä jokainen käyttää eri tapoja varmistaakseen IRF-domainin toiminnan. Opinnäytetyössä toteutetaan LACP MAD, sillä se sopii parhaiten toimeksiantajan ympäristöön ja otetaan käyttöön yrityksen tuotantoympäristöön.

### 3.5.2 LACP MAD

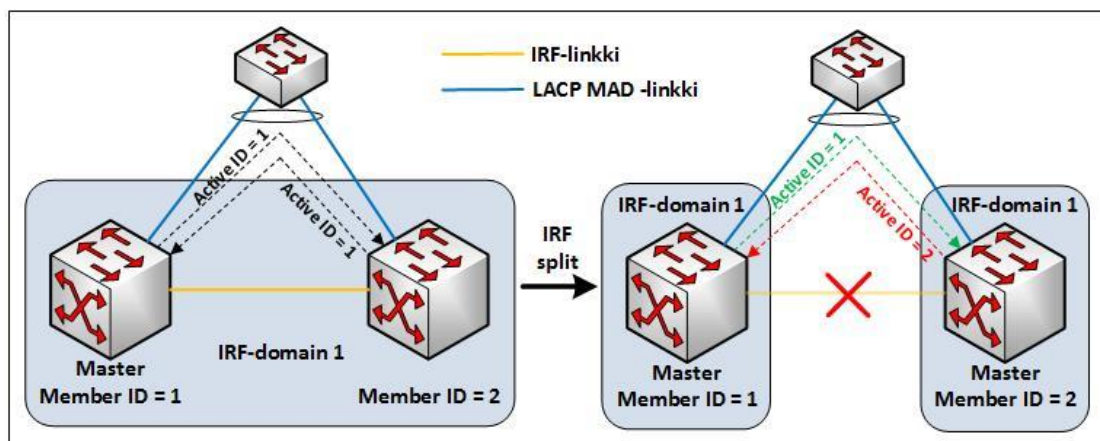
IRF-jäsenkytkimiin konfiguroiduilla *domain ID*- sekä *member ID* -arvoilla on IRF-linkkien vikaantuessa oleellinen rooli LACP MAD:n toiminnassa, sillä ne vaikuttavat aktiivisen domainin valintaan. LACP MAD käyttää valinnassa arvoa "*active ID*", joka on sama kuin IRF-domainin master-kytkimen *member ID*. Lisäksi domain-ID:tä tarvitaan, että eri IRF-domainit voidaan erottaa toisistaan. (HP A5820X & A5800 Switch Series MAD Overview and Configuration Examples 2011, 1.)

LACP MAD:n avulla IRF-domainin toipuminen vikatilanteesta on nopeaa ja se on myös yksinkertaisin konfiguroida. Siihen tarvitaan yksi välittäjäkytkin, johon kaikilla IRF-jäsenkytkimillä on linkki. Tämän välittäjäkytkimen kautta IRF-jäsenkytkimet vaihtavat keskenään tietoja IRF-domainin eheydestä erityisillä "*extended LACP*"-viesteillä, joissa standardiin LACP-viestiin on lisätty TLV-kenttä, joka kertoo tiedot IRF-domainista ja Active-ID:stä. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 23.)

Koska nämä viestit ovat laajennus standardiin LACP-protokollaan, ne vaativat erityisen tuen kytkimiltä. Aikaisemmin tämä tuki on löytynyt vain HP:n A-sarjan kytkimistä, mutta uusimmat ohjelmistopäivitykset ovat tuoneet tuen myös joihinkin E-sarjan ProVision-kytkimiin. Näin ollen toimeksiantajan IRF-ympäristössä on mahdollista hyödyntää LACP MAD -tekniikkaa käyttäen välittäjänä HP:n 2530-mallin kytkintä, joka on jo valmiiksi yrityksen liityntäkytkinmalli.

Normaalitilanteessa saman IRF-domainin MAD-viestit sisältävät saman *domain ID*:n sekä *active ID*:n. Tämä tarkoittaa, että kyseisellä IRF-domainilla on vain yksi master-

kytkin, eli IRF toimii oikein. *Split*-tilanteessa kahdella eri IRF-domainilla on vielä samat L3-asetukset ja sama konfiguroitu *domain ID*, mutta molempiin valitaan oma master-kytkin. Tällöin vaihdetuissa MAD-viesteissä on sama *domain ID*, mutta eri *active ID*:t. Tilanne on esitetty kuviossa 20. (HP A5820X & A5800 Switch Series MAD Overview and Configuration Examples 2011, 2-3.)



Kuvio 20. LACP MAD ja *active ID* -viestit vikatilanteessa

Tällöin IRF:n liikenteen välityksen varmistamiseksi MAD asettaa toisen domainin *recovery*-tilaan jättäen toisen aktiiviseksi. Valinta tehdään *active ID*:n perusteella. Se domain, jolla on pienempi *active ID*, jätetään aktiiviseksi. Suurempi *active-ID* häviää, ja sen alaiset jäsenkytkimet asetetaan *recovery*-tilaan. (HP A5820X & A5800 Switch Series MAD Overview and Configuration Examples 2011, 3.)

Comware5-käyttöjärjestelmä käyttää aktiivisen domainin valitsemisen perusteena vain *active ID*:n arvoa, jolloin esimerkiksi neljän IRF-jäsenkytkimen domainissa on mahdollista, että ainoastaan yksi suurimman prioriteetin kytkin jää aktiiviseksi ja loput kolme siirtyvät *recovery*-tilaan. Tämä huonontaa verkon saatavuutta merkittävästi.

Uuden Comware7:n mukanaan tuoma LACP MAD:n kyky ottaa huomioon aktiivisten jäsenkytkinten määrä eri domainissa tehostaa protokollaa merkittävästi. Siinä extended LACP -viesteissä kulkee myös master-kytkintä varmistavien jäsenkytkimien lukumäärä domainissa. Aktiiviseksi jätetään aina se domain, jossa on eniten jäsenkytkimiä. Näin varmistetaan se, että mahdollisimman moni IRF-kytkin pysyisi toiminnas-

sa vikatilanteissa. Tasatilanteessa valinta tehdään jälleen active ID:n perusteella. Useamman kuin kahden jäsenkytkimen IRF-domainissa uudistettu LACP MAD mahdollistaa muihin toteutusvaihtoehtoihin verrattuna suurimman verkon saatavuuden IRF-linkkien vikatilanteissa. (HP 5920 & 5900 Switch Series IRF Configuration Guide 2013, 8.)

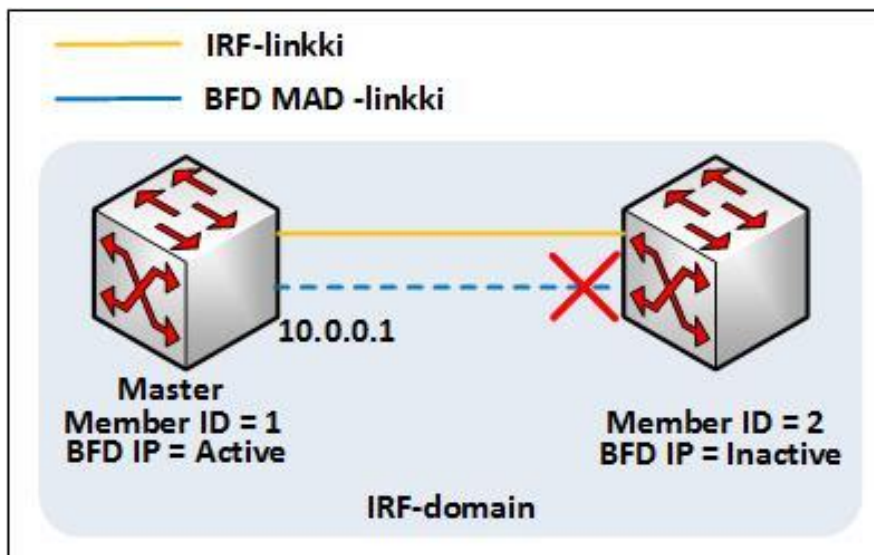
Toimeksiantajan käyttöön tulevat 5820AF-24XG-SFP –kytkimet saavat lähitulevaisuudessa Comware7-käyttöjärjestelmäpäivityksen, joten LACP MAD on paras ratkaisu toimeksiantajan IRF-ympäristöön. Koska Comware7-päivitys ei ehdi 5820-sarjaan opinnäytetyön aikarajan puitteissa, käytännön osuudessa testataan Comware5:n LACP MAD –toteutusta. MAD-tekniikan suunnitteluun ja hyötyihin toimeksiantajan verkkoympäristössä palataan opinnäytetyön suunnitteluosiossa.

Vikasietoisuuden kasvattamiseksi välittäjäkytkimenä voidaan käyttää toista IRF-domainia, tai useampaa kuin yhtä erillistä kytkintä. Tällöin jokaisesta IRF-jäsenkytkimestä tulisi olla linkki jokaiseen välittäjäkytkimeen eli *full mesh* -topologia. Näin varmistetaan parhaiten LACP-viestien välitys vikatilanteissa.

### 3.5.3 BFD MAD

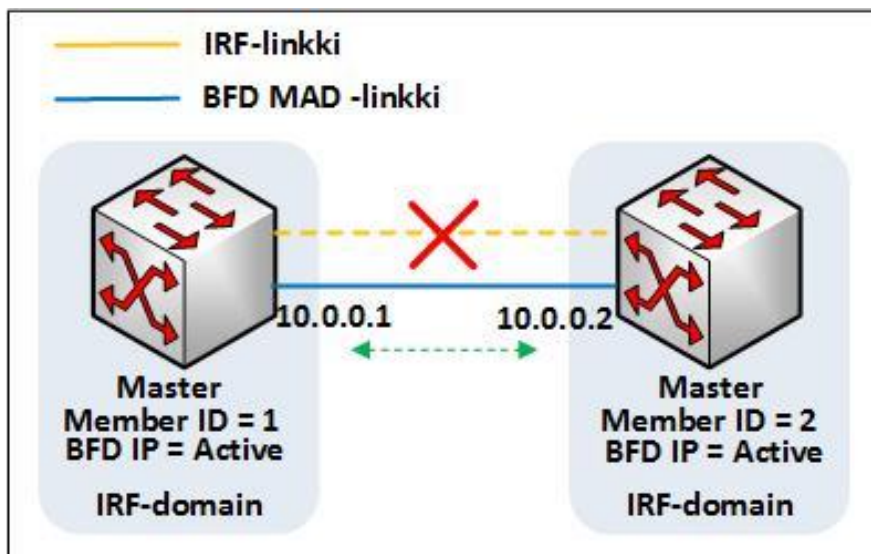
Bidirectional Forwarding Detection (BFD) on protokolla, minkä avulla havaitaan linkin katkeaminen tai IP-yhteysvirheet. Erona LACP MAD –toteutukseen on, että ylimääräistä välittäjäkytkintä ei välttämättä tarvitse käyttää. Sen sijaan jäsenkytkinten välille muodostetaan BFD MAD –yhteydelle omistettu linkki, jossa ei kuljeteta hyötydataa tai muita protokollia. Kaikki BFD MAD –portit tulee asettaa sitä tarkoitusta varten luotuun VLANiin, ja jokaiselle jäsenkytkimelle määritetään samasta aliverkosta oma MAD IP-osoite virtuaaliseen VLAN-rajapintaan. Näin jäsenkytkimillä on edellytykset muodostaa BFD-istuntoja keskenään. IRF:n Domain ID-arvo ei kulje BFD-paketeissa, joten sitä ei tarvitse välttämättä konfiguroida. Jäsenkytkimet eivät välitä BFD-paketteja eteenpäin, joten siihen liittyvää broadcast-myrskyn vaaraa ei ole topologiasta riippumatta, ja STP-toiminnallisuus otetaan pois käytöstä BFD MAD-porteissa. (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 25-27.)

Kuviossa 21 on esitetty BFD MAD:n toiminta kahden jäsenkytkimen topologiassa, jossa ei käytetä välittäjäkytkintä. Normaalitilanteessa ainoastaan domainin master-kytkimen MAD IP-osoite on aktiivinen, ja se yrittää muodostaa BFD-istunnon toisen jäsenkytkimen kanssa siinä onnistumatta.



Kuvio 21. BFD MAD normaali tilanne

Kun IRF-linkki vikaantuu, muodostuu kaksi erillistä IRF-domainia, joihin molempiin valitaan oma master-kytkin. Tässä vaiheessa kummankin master-kytkimen MAD IP-osoite on aktiivinen yhtä aikaa, joten muodostavat BFD-istunnon keskenään. Sen aikana master-kytkimet vertailevat active-ID -arvojaan (master-kytkimen member-ID), ja valitsevat niiden perusteella seuraavan toimenpiteen. Se kytkin, jolla on suurempi Active-ID, menee *recovery*-tilaan eli sulkee kaikki fyysiset porttinsa lukuunottamatta BFD MAD- ja IRF-portteja. Pienemmän Active-ID:n omistava kytkin pysyy aktiivisessa tilassa ja jatkaa liikenteen välittämistä. BFD-istunto *split*-tilanteessa on esitetty kuviossa 22. (HP A5820X & A5800 Switch Series MAD Overview and Configuration Examples 2011, 3.)



Kuvio 22. BFD MAD *split*-tilanne

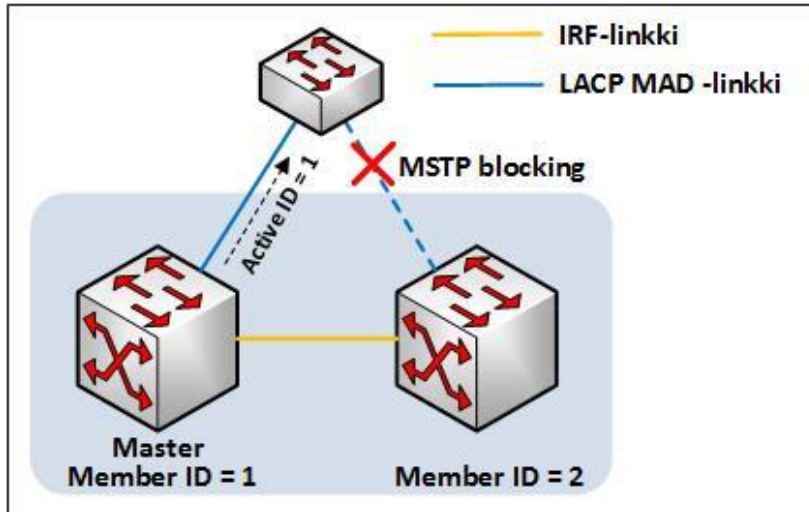
Useamman kuin kahden IRF-kytkimen domainissa tehokkain tapa toteuttaa BFD MAD on muodostaa IRF-linkeillä rengastopologia, ja välittäjäkytkimen puuttuessa BFD MAD-linkeillä *full mesh* –topologia. Tämä vaatii LACP MAD:iin verrattuna enemmän portteja käyttöön.

### 3.5.4 ARP MAD

ARP MAD havaitsee IRF:n virhetilanteet lähettämällä “*extended gratuitous ARP*”-viestejä, jotka kuljettavat IRF-domainin active-ID –arvoja. ARP MAD voidaan toteuttaa joko yleisimmän tavan mukaan muodostamalla ARP MAD -linkki IRF-jäsenkytkinten ja välittäjäkytkimen välille, tai ilman välittäjäkytkintä luoden ARP MAD –linkit suoraan IRF-jäsenkytkinten välille. MSTP tulee konfiguroida linkkeihin käyttöön sekä välittäjäkytkimeen että IRF-jäsenkytkimiin. IRF-kytkin on konfiguroitava päivittämään Bridge MAC-osoitteensa välittömästi master-kytkimen lähdettyä, jotta ARP MAD havaitsisi IRF:n hajonneen. (HP A5820X & A5800 Switch Series MAD Overview and Configuration Examples 2011, 4.)

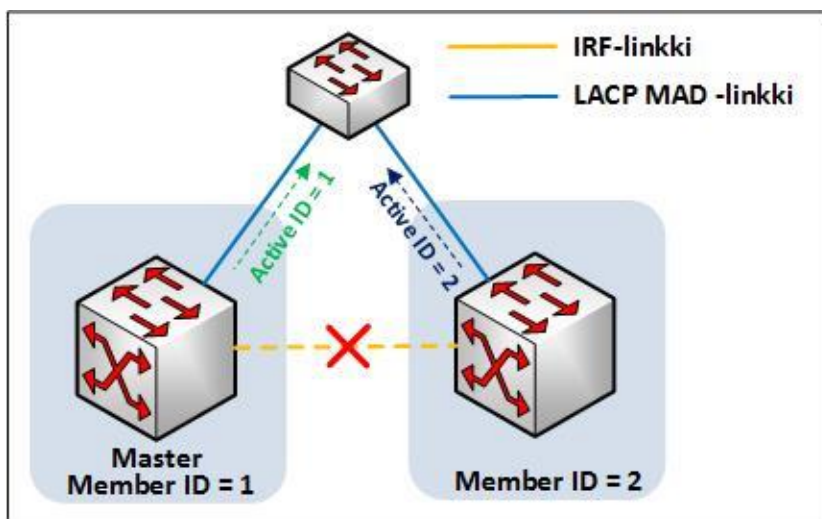
Kuviossa 23 on esitetty topologia, jossa kahden jäsenkytkimen IRF käyttää välittäjäkytkintä ARP MAD:ssa. Normaalitilanteessa MSTP blokkaa redundanttisen linkin välittäjäkytkimen ja IRF:n välillä (kyseessä ei ole porttikanava), ja master-kytkimen jatku-

vasti lähettämät gratuitous ARP -viestit eivät saavuta toista jäsenkytkintä. (HP A5820X & A5800 Switch Series MAD Overview and Configuration Examples 2011, 4.)



Kuvio 23. ARP MAD normaali tilanne

*Split*-tilanteessa MSTP sallii toisenkin linkin, ja kahden eri IRF-domainin master-kytkimet vastaanottavat *gratuitous ARP* -viestejä toisiltaan. Nämä viestit pitävät sisällään saman IP-osoitteen, mutta eri MAC-osoitteen, mikä aiheuttaa törmäyksiä. Sen jälkeen master-kytkimet vertailevat active-ID -arvojaan. Suuremman active-ID:n IRF-kytkin asettaa itsensä *recovery*-tilaan, ja pienemmän active-ID:n IRF-kytkin pysyy aktiivisena ja jatkaa liikenteen välittämistä. *Split*-tilanne on esitetty kuviossa 24. (HP A5820X & A5800 Switch Series MAD Overview and Configuration Examples 2011, 4.)



Kuvio 24. ARP MAD *split*-tilanne

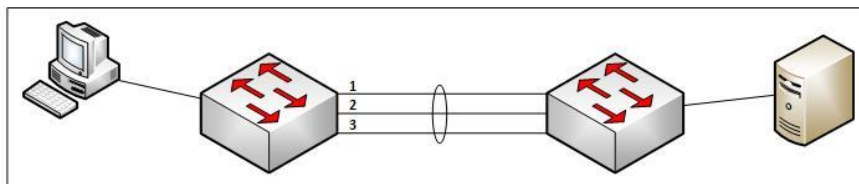


## 3.6 IEEE 802.3ad Link Aggregation Control Protocol (LACP)

### 3.6.1 Yleistä

RSTP-protokollan aiheuttama redundanttien linkkivälien kapasiteetin hukkaaminen voidaan kiertää yhdistämällä korkeintaan kahdeksan fyysistä porttia yhdeksi loogiseksi porttikanavaksi, mikä myös lisää vikasietoisuutta. Nämä portit näkyvät myös Spanning Tree –protokollan topologiassa yhtenä loogisena porttina, jolle voidaan antaa cost-arvo niin kuin normaaleille porteille. Fyysiset portit jakavat kuormaa keskenään, joten porttikanavan nopeus kasvaa aina lisätyn fyysisen portin nopeuden mukaan. Esimerkiksi neljän fyysisen 1GbE-portin muodostamaa LACP-kanava on looginen 4GbE-portti (teoreettinen nopeus).

Kuviossa 25 havainnollistetaan, miten kolmen fyysisen portin LACP-porttikanava näkyy verkossa.



Kuvio 25. LACP-porttikanava

Porttikanava-tekniikan nimitykset vaihtelevat valmistajien kesken; esimerkiksi Cisco käyttää tekniikasta nimitystä *"EtherChannel"*, kun taas HP:n ProVision-käyttöjärjestelmässä terminä on aikaisemmin ollut *"port trunking"* (vrt. Ciscon *"trunk"*) ja Comware-käyttöjärjestelmässä *"link aggregation"*. Opinnäytetyössä tekniikasta käytetään yleisesti termiä *"porttikanava"* selvyyden vuoksi, kun taas usean VLANin kuljettamisesta yhdessä linkissä käytetään Ciscon *"trunk"*-termiä.

Porttikanavien hallintaan käytettävä IEEE:n standardi 802.3ad (LACP) on yleisesti tuettu eri laitevalmistajilla, joten se on luonteva valinta valmistajakohtaisten protokollien sijaan.



### 3.6.2 LACP:n muodostamisen vaatimukset ja toimenpiteet

Porttikanava voi olla L2- tai L3-portti, sillä konfigurointi tapahtuu kuten normaalissakin portissa. Linkkien molemmissa päissä tulisi huomioon seuravat asiat ennen LACP:n konfigurointia:

- Tarkista, että duplex-asetukset ja porttien nopeudet ovat yhteneviä
- Tarkista portteihin määritetyt VLANit. Porttien täytyy olla joko *trunk*-tilassa tai samassa VLANissa
- STP polun cost-arvo voi olla erilainen kanavan linkkien kesken
- Mikäli porttikanavasta on tarkoitus tehdä L3-linkki, anna IP-osoite porttikana-  
valle fyysisten porttien sijaan. (Froom ym. 2010, 105-106.)

Lisäksi on hyvä muistaa, että fyysiset portit tulisi asettaa pois päältä ennen kaapeleiden kytkeä ja LACP:n konfigurointia. Näin vältetään broadcast-myrskyt ja STP:n ollessa käytössä topologian uudelleenlaskenta. Niin ikään myös porttikanavan purkamisessa olisi syytä ensimmäisenä vaiheena irrottaa kaapeli portista tai sulkea portti.

### 3.6.3 ProVision LACP

HP:n ProVision-käyttöjärjestelmä tarjoaa kaksi tapaa toteuttaa porttikanava; *"trunk"* ja LACP.

Trunk-porttikanavaa käytetään silloin, kun LACP-protokollaa ei ole mahdollista käyttää. Tätä vaihtoehtoa voi käyttää ainoastaan staattisessa porttikanavassa, kun taas LACP-porttikanavan tyyppi voi olla joko *"dynamic"* tai *"static"*. (HP Series 2530 Switches Management and Configuration Guide 2012, 4.)

*Dynamic LACP* tulisi ottaa käyttöön vain niissä tilanteissa, jolloin käytössä on kahdeksasta rajapinnasta koostuva porttikanava ja halutaan vielä sisällyttää porttikanavaan yksi tai useampi portti varalle. Nämä varaportit ovat *"standby"*-tilassa, eivätkä näin ollen välitä liikennettä, ennen kuin jokin muu fyysinen portti lakkaa toimimasta. Tä-

mä vaihtoehto sopii, mikäli kyseessä on todella kriittinen HA-linkkiväli. (HP Series 2530 Switches Management and Configuration Guide 2012, 4.)

*Static LACP*:ssa konfiguroidaan enintään kahdeksan fyysistä rajapintaa porttikanavaan. Staattisen porttikanavan STP- ja IGMP-parametreja on mahdollista konfiguroida. Lisäksi porttikanavan liikenne voidaan peilata monitorointiporttiin esimerkiksi vianetsinnän yhteydessä. (HP Series 2530 Switches Management and Configuration Guide 2012, 4.)

### 3.6.4 Comware LACP

HP:n Comware-käyttöjärjestelmän kytkimissä on niin ikään kaksi tapaa toteuttaa porttikanava, josta käytetään nimitystä *“bridge-aggregation interface”* (myöhemmin *BAGG*).

*“Static”*-porttikanavassa rajapintojen hallinta on manuaalista, kun taas *“dynamic”*-porttikanavassa LACP hoitaa porttikanavan rajapintojen ylläpidon (HP 5820X & 5800 Switch Series Layer 2 – LAN Switching Configuration Guide 2012, 38).

LACP-porttikanavassa fyysiset rajapintojen tila on joko *“selected”* tai *“unselected”*. Kun rajapinta on toiminnassa sekä voi vaihtaa LACPDU-viestejä naapurilaitteen kanssa, sen tila on *selected*. Rajapinnan tilan ollessa *unselected*, se ei välitä hyötydataa eikä pysty välittämään LACPDU-viestejä. (HP 5820X & 5800 Switch Series Layer 2 – LAN Switching Configuration Guide 2012, 36.)

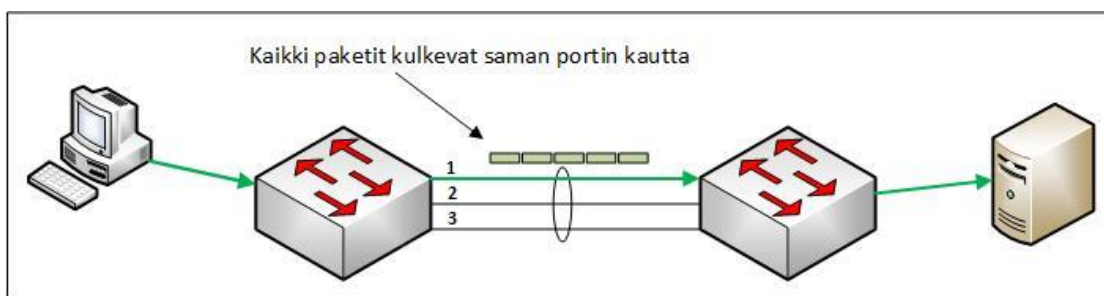
Porttikanavan muutokset tulee aina suorittaa BAGG-rajapintaan, jotta ne siirtyisivät kaikkiin porttikanavan fyysisiin portteihin. Lisättäessä uusi (suljettu) fyysinen rajapinta jälkeinpäin porttikanavaan, kyseisen rajapinnan tila on *“unselected”*. Vaikka rajapinta olisi kytketty naapurilaitteeseen ja se avattaisiin, se ei voi toimia *selected*-tilassa, ennen kuin mm. VLAN- ja *MAC-address learning* –asetukset ovat määritetty rajapintaan samanlaisiksi kuin porttikanavassa on. (HP 5820X & 5800 Switch Series Layer 2 – LAN Switching Configuration Guide 2012, 36.)

### 3.6.5 Kuormanjako 2530-kytkimen porttikanavassa

HP:n 2530-mallissa LACP-porttikanavan kuormanjako eri fyysisten porttien kesken toimii ”*source address/destination address*” –periaatteen mukaan (lyhyemmin SA/DA). Laskenta tapahtuu lähteen ja kohteen IP-osoitteen viiden viimeisen bitin perusteella. Mikäli IP-osoitetta ei ole saatavilla, käytetään MAC-osoitteita. (HP Series 2530 Switches Management and Configuration Guide 2012, 22-24.)

Tietystä lähteestä peräisin olevat paketit kulkevat yhtä linkkiä pitkin kohteeseen, ja samasta lähteestä peräisin olevat paketit voivat myös kulkea kyseistä linkkiä pitkin eri kohteeseen. Yhtälailla kytkin jakaa eri lähteistä samaan kohteeseen matkalla olevat paketit linkeille riippuen polkumäärittämisistä. Paketteja ei siis jaeta linkkien kesken täysin tasaisesti, ja eri liikennevirtojen liikennemäärä saattaa vaihdella paljonkin. Näin ollen yhden porttikanavan linkin ollessa ylikuormitettu jonkin liikennevirran takia, saattaa toisten linkkien kapasiteetti olla lähes käyttämättömänä. (HP Series 2530 Switches Management and Configuration Guide 2012, 22-24.)

Kuviossa 26 on kuvattu tilanne, jossa kytkinten välillä on kolme fyysistä porttia sisältävä porttikanava. Kuviossa sama lähde lähettää viisi pakettia samaan kohteeseen, joten SA/DA-määrittäykset pysyvät samana. Tämän vuoksi kytkin ohjaa liikenteen ainoastaan porttikanavan linkkiin 1, ja muut linkit pysyvät kuormittamattomina.



Kuvio 26. HP2530:n LACP kuormanjaon puutteet

Kun porttikanavaan lisätään uusi portti, se osallistuu automaattisesti joko uuden tai jo olemassa olevan liikenteen kuormanjakoon.

Porttikanava pysyy toiminnassa niin kauan, kuin siinä on vähintään yksi toimiva linkki. Ideaalitilanteessa porttikanavan eri linkit kulkisivat fyysisesti eri reittejä, jolloin yhden kaapelin katkeaminen ainoastaan pienentäisi porttikanavan kaistanleveyttä vikaantuneen linkin nopeuden verran.

### 3.6.6 Kuormanjako IRF-kytkimen porttikanavassa

5820-sarjan kytkimissä on porttikanavien kuormanjaon perusteiksi mahdollista valita yksi seuraavista tai mikä tahansa niiden yhdistelmä; MAC-osoitteet, IP-osoitteet, *service port* –numerot tai vastaanottavan portin numerot (HP 5820X & 5800 Switch Series Layer 2 – LAN Switching Configuration Guide 2012, 41).

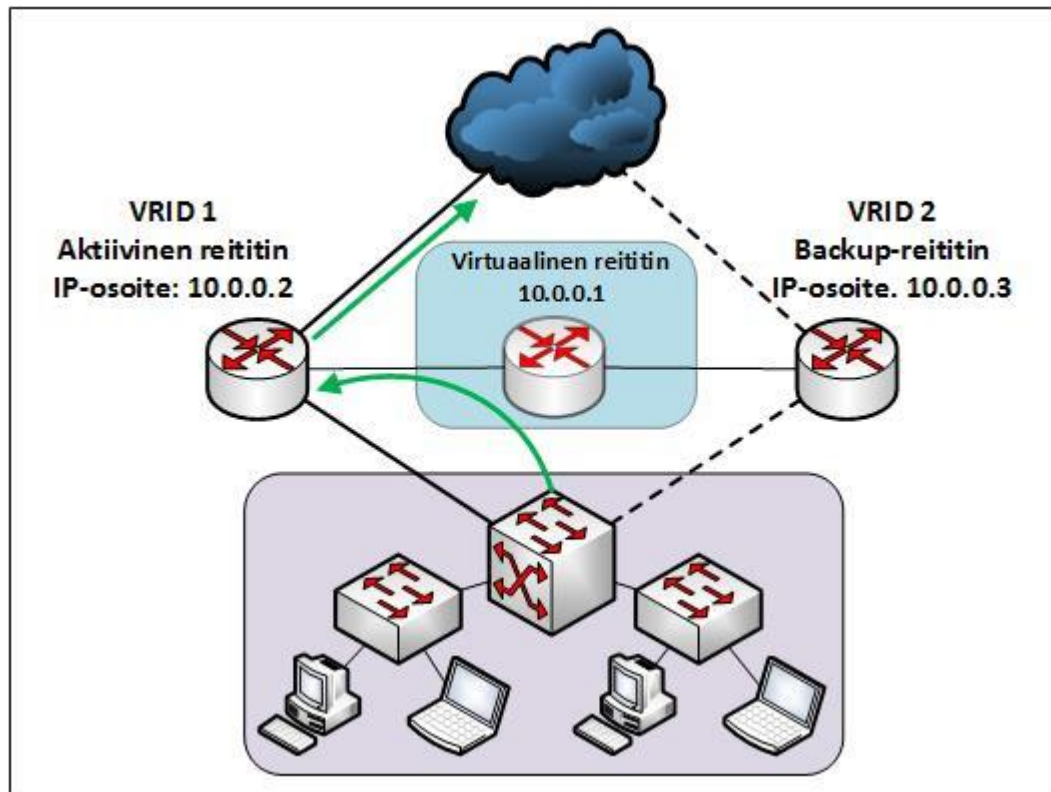
Oletuksena 5820-kytkimet käyttävät globaalisti kuormanjakoperusteina vastaanottavaa porttia, SRC/DST MAC-osoitteita L2-liikenteessä ja SRC/DST IP-osoitteita L3-liikenteessä (HP 5820X & 5800 Switch Series Layer 2 – LAN Switching Configuration Guide 2012, 46).

## 3.7 VRRP

VRRP:ssä kaksi tai useampi aktiivilaite (reititin tai reitittävä L3-kytkin) muodostavat yhdessä virtuaalisen reitittimen. Yksi reititin toimii master-roolissa ja loput ovat backup-roolissa. Jokaisella fyysisellä reitittimellä on oma IP-osoitteensa ja konfiguroitu prioriteetti VRRP-vaaleihin. Virtuaalireitittimelle annetaan myös IP-osoite, ja tämä toimii verkon päätelaitteiden IP-yhdyskätävänä.

Vaikka liikennevirta osoitetaankin virtuaalireitittimelle, hoitaa oikean reitityksen kuitenkin aktiivinen master-reititin. Mikäli master vikaantuu, muut VRRP-reitittimet valitsevat joukostaan uuden masterin prioriteetin perusteella. Prosessin aiheuttama katkos on yhden sekunnin luokkaa. Mikäli toimivaan VRRP-ympäristöön tuodaan korkeamman prioriteetin reititin, se ottaa automaattisesti master-roolin. Tämä ominaisuus voidaan konfiguroida pois käytöstä. (Parziale, Britt, Davis, Forrester, Liu, Matthews & Rosselot 2006, 917.)

Kuviossa 27 on tyypillinen tilanne, jossa kaksi reititintä muodostavat VRRP-kokonaisuuden. Kytkinverkosta saapuva liikenne käyttää virtuaalisen reitittimen IP-osoitetta 10.0.0.1 L3-yhdyskätävänä, mutta todellisuudessa aktiivinen master-reititin välittää liikenteen. Aktiivisen reitittimen vikaantuessa backup-reititin ottaa haltuunsa virtuaalireitittimen IP-osoitteen ja hoitaa liikenteen välityksen.



Kuvio 27. VRRP:n toiminta

## 4 SUUNNITTELUOSIO

### 4.1 PPDIOO

Cisco Systemsin CCDP-konseptin mukaan verkon elinkaari, sen suunnittelu ja käyttöönotto suositellaan toteutettavaksi kuusivaiheisesti. Tätä kutsutaan nimellä PPDIOO, joka on lyhenne sen kuudesta vaiheesta: *Prepare, Plan, Design, Implement, Operate* ja *Optimize*. Näitä ei välttämättä voi toteuttaa järjestyksessä, sillä vaiheet menevät osaltaan päällekkäin. PPDIOO parantaa yrityksen kykyä varautua äkillisiin muutoksiin, palveluiden ja verkon saatavuutta sekä pienentää koko tietoverkon kustannuksia. (Bruno, Jordan 2011, 11.)

Vaiheet ovat seuraavanlaiset:

**Prepare-vaiheessa** määritellään mitä organisaatio ja liiketoiminta vaativat pyöriäkseen ja mietitään verkkostrategia sen kannalta. Tämä toimii myös taloudellisena perusteluna verkkostrategialle. (Bruno, Jordan 2011, 14.)

**Plan-vaiheessa** määritellään konkreettiset verkon tavoitteet ja vaatimukset. Verrataan olemassa olevaa verkkoarkkitehtuuria uudistamisen jälkeiseen haluttuun malliin, ja määritetään vastuuhenkilöt ja eri tehtävät tavoitteiden saavuttamiseksi. Tätä suunnitelmaa seurataan ja tarpeen mukaan päivitetään. (Bruno, Jordan 2011, 14.)

**Design-vaiheessa** luodaan verkkosuunnitelma, joka perustuu aiemmin luotuihin luonnoksiin ja suunnitelmiin. Verkkosuunnitelma on kokonaisvaltainen dokumentti, joka tarjoaa esimerkiksi laiteluettelon ja yksityiskohtaisen informaation työstä, jota seuraavassa *Implement*-vaiheessa tarvitaan. Tätä dokumenttia noudattamalla saavutetaan korkeat saatavuus, luotettavuus, turvallisuus, skaalautuvuus ja suorituskyky. Kun verkkosuunnitelma on hyväksytty, voidaan aloittaa toteutus. (Bruno, Jordan 2011, 14.)

**Implement-vaiheessa** uusi laitteisto asennetaan ja konfiguroidaan verkkosuunnitelman mukaisesti. Työ dokumentoidaan, tarvittava työaika arvioidaan, muutokset suunnitelmaan saatetaan tietoon kaikille ja virheiden varalta tehdään suunnitelmat aikaisempiin konfiguraatioihin palaamiseksi. Koko verkkosuunnitelman mukainen ympäristö uusine muutoksineen testataan ennen kuin siirrytään seuraavaan vaiheeseen. (Bruno, Jordan 2011, 14.)

**Operate-vaiheessa** uusi verkkoympäristö on otettu käyttöön. Verkon jokapäiväistä toimintaa valvotaan ja havainnoidaan virheitä. Verkonvalvontaohjelmistosta riippuen hälytyksiä olisi suotavaa käyttää informoimaan virheiden kynnyksarvojen ylittymisestä. Vikojen etsiminen ja niiden korjaaminen sekä suorituskyvyn valvonta antavat lähtökohdat PPDIOO:n viimeiselle vaiheelle. (Bruno, Jordan 2011, 14.)

**Optimize-vaiheessa** ympäristö on saatettu toimivaan tilaan. Verkon valvontaa jatketaan ja pyritään ennaltaehkäisevään toimintaan virheiden varalta. Tämä on siis verkon ylläpitoa ja suorituskyvyn optimointia. Mikäli joko ajan kuluessa tai muiden virheiden johdosta verkossa ilmenee liikaa ongelmia, on syytä luoda muokattu suunnitelma verkosta vikojen korjaamiseksi. Tämä taas tarkoittaa PPDIOO-kierroksen alkamista uudelleen. (Bruno, Jordan 2011, 14.)

Opinnäytetyössä sivutaan lähinnä PPDIOO:n kolmea ensimmäistä vaihetta; *Prepare*, *Plan* ja *Design*. Tuotantoympäristöön tosin tehdään muutoksia opinnäytetyön aikana, joten osaltaan myös *Implement*-vaiheella on oma roolinsa opinnäytetyössä. Myöhemmät vaiheet liittyvät verkkouudistusten käyttöönottoon, joka ei ole opinnäytetyön tekohetkellä vielä ajankohtaista.

## 4.2 VLAN-suunnittelu

### 4.2.1 Muutokset ympäristöön

Yrityksen työasema-VLAN ja sen aliverkko on syytä pilkkoa pienempiin osiin esimerkiksi osastoittain, jolloin VLANien liikenne muuttuu enemmän paikallisempaan suuntaan, ns. ”*local VLAN*” -malliin. Tämä segmentoi verkon vastaamaan paremmin nyky-

päivän vaatimuksia, jolloin ylläpito ja vianetsintä helpottuvat ja tietoturvaa voidaan kehittää tulevaisuudessa.

Segmentoinnin avulla myös osasto-, käyttötarkoitus- ja sijaintikohtaisten VLANien välinen reititys voidaan uudistaa uuden verkkoympäristön implementoinnin yhteydessä tai sen jälkeen. Yrityksen maantieteellinen rakenne ei mahdollista verkon jaoteltua joka paikassa sijainnin mukaan, mutta tietyt osastot voidaan erottaa toisistaan loogisesti. Päätelaitteiden määrä yhdessä VLANissa olisi käyttötarkoituksesta riippuen hyvä pitää alle 200:ssa (HP FlexCampus Reference Architecture Guide 2011, 20).

Tulevan hierarkkisen verkkomallin ansiosta monet yrityksen VLANit voidaan terminoida runkokerrokseen. Tällöin niistä muodostuu loogisesti paikallisia VLANeja, vaikka runkokytkimien virtualisoinnin takia ne levittyvät fyysisesti joka puolelle yritystä.

Paikallisten VLANien käyttäminen yksinkertaistaa L2- ja L3-liikenteen reittejä ja näin ollen mahdolliset ongelmat on helpompi paikallistaa ja eristää tiettyyn osaan verkossa. Lisäksi aktiivilaitteiden määrä samassa VLANissa on mahdollista pitää pienenä, jolloin L2-ongelmat eivät koske suurta käyttäjämäärää. Uusien kokonaisuuksien liittäminen verkkoon helpottuu, mikä lisää skaalautuvuutta ja modulaarisuutta. (Froom ym. 2010, 57-58.)

#### **4.2.2 Parhaat käytännöt**

Ciscolla on omat suosituksensa VLANien suunnitteluun ja toteutukseen. Veljekset Keskinen ympäristöön niistä sopivat esimerkiksi:

- VLANit vastaavat useimmiten käyttäjäryhmiä. Näille on käyttäjämäärän ja tarkoituksen mukaan hyvä määrittää oma IP-aliverkko
- Kun tarvittavat VLANit on tiedossa, on mietittävä, missä yrityksen toimipisteissä mitään VLANia tarvitaan. Tämä määrittää liikennevirran kytkimien välillä
- Usein VLANit määritetään porttikohtaisesti, ja toisinaan käytetään dynaamista menetelmää (esimerkiksi dot1x-autentikointi). On hyvä päättää menettely käyttämättömien porttien kanssa; käyttääkö niissä



oletus-VLANia vai tietoturvasyistä määrittää ne erilliseen käyttämättömään VLANiin

- Trunk-porttien konfiguroinnissa tulee ottaa huomioon, mitkä VLANit ovat tarpeellisia missäkin ja mitä VLANia käytetään ns. *native-VLANina*. (Froom ym. 2010, 59.)

Eri tarkoituksien tietoliikenne on hyvä pitää omissa VLANeissaan (hallinta, VoIP, data, oletus-VLAN jne.). Lisäksi käyttämättömille porteille hyvä määrittää oma ”*black hole*” –VLAN, johon käyttämättömät portit asetetaan. Kyseisessä VLANissa ei tulisi kulkea hallintaprotokollia (STP BPDU, LACP, LLDP ym.), vaan niille tulisi määrittää oma VLAN. (Froom ym. 2010, 60.)

#### 4.2.3 Primary VLAN ja Management VLAN

Yrityksen käytössä olevissa kytkimissä jokaisen portin täytyy olla aina vähintään yhden VLANin jäsen. Oletuksena se on ”*Default VLAN*” eli oletus-VLAN, joka on aina olemassa ja käytössä, ellei sitä ole portissa erikseen kielletty. *Default-VLAN*in ID on 1, eikä sitä voi muuttaa tai poistaa, vaan ainoastaan nimetä uudelleen. Portti palaa automaattisesti *default-VLAN*iin, mikäli muut VLANit poistetaan siitä. (HP 2530 Advanced Traffic Management Guide 2013, 40.)

Jo HP:n vanhemmissa kytkinmalleissa voidaan määrittää ”*primary-VLAN*”, joka on tarkoitettu hallintaviestien kuljettamiseen. Käytettäessä DHCP-palvelinta hallintaverkossa, voi kytkin oppia oman hallintaan tarkoitetun IP-osoitteensa, SNTP-serverin osoitteen, IP TTL-arvon ja oletusyhdyskäytävän ainoastaan *primary-VLAN*issa. Mikäli kytkimeen yritetään tarjota samoja tietoja muista VLANeista, ne hylätään ja näin ollen kytkin pysyy oikein konfiguroituna. Kytkimen tehdaskonfiguraatiossa *default VLAN* toimii *Primary-VLANina*, mikä on mahdollista muuttaa. (HP 2530 Advanced Traffic Management Guide 2013, 40.)

Turvallisempi ja hallitumpi tapa on itse määrittää kytkimelle staattinen IP-osoite tietyistä aliverkosta, jota käyttää hallintaan tarkoitettu VLAN. Toimeksiantajan verkossa aktiivilaitteiden osoitteet ovat käsin määritettyjä, ja opinnäytetyön aikana konfigu-

roiduissa uusissa kytkimissä otettiin käyttöön ”*Management VLAN*” –ominaisuus hallinta-VLANiin.

*Management VLAN* rajoittaa hallintaliikenteen ja pääsyn laitteeseen vain kyseisen VLANin jäsenille. Tämä ominaisuus on mahdollista määrittää vain yhteen VLANiin, minkä jälkeen kyseisessä VLANissa IP-osoite on mahdollista määrittää ainoastaan manuaalisesti, IGMP-viestit ovat kiellettyjä ja reititys ei ole sallittu siitä sisään tai ulos. Vaikka kytkin reitittäisi muita VLANeja, säilyy *Management VLAN* eristettynä. (HP Hardening Procurve Switches Technical White Paper 2007, 5.)

Toimeksiantajan verkkoympäristössä *primary*-VLAN ja *management*-VLAN ovat määritetty tiettyyn VLANiin, jolloin *default*-VLAN 1 toimii normaalin VLANin tavoin eikä välitä hallintaprotokollien viestejä. Koska kytkimen portit ovat oletuksena *default*-VLAN 1:ssä, voidaan kyseinen VLAN jättää tyhjäksi samalla, kun uusi verkkoympäristö on otettu käyttöön ja aliverkkoja segmentoidaan uudelleen eri VLANeihin. Tällöin ainoastaan käyttöön tulevat portit tarvitsee konfiguroida tarkoitettuihin VLANeihin, ja käyttämättömät portit jäävät tietoturvallisesti tyhjään VLAN 1:een.

Tulevaisuudessa tyhjää VLANia tarvitaan myös esimerkiksi 802.1x-autentikaation dynaamisena vieras-/karanteeniverkkona, mistä ei ole pääsyä mihinkään tai vain valittuihin palveluihin.

### 4.3 Aktiivilaittekannan yhtenäistäminen

Keskisen verkko tullaan toteuttamaan hierarkkisesti, joten voidaan valita eri kytkinmallit eri kerroksille. Liityntäkerros on toiminnaltaan puhtaasti L2-tasolla, joten siihen tarkoitukseen ei tarvitse miettiä kalliimpia L3-toiminnoilla varustettuja liityntäkytkimiä.

Laittekannassa on hyvä pyrkiä yhdenmukaisuuteen. Ylläpidollinen taakka vähentyy yksinkertaisesti sillä, että konfiguraatiot ovat mahdollisimman yhteneviä ja laitteet ovat fyysisestikin samanlaisia. Tämä mahdollistaa saman käyttöjärjestelmäversion käyttämisen aktiivilaitteissa, jolloin esimerkiksi laitevalmistajan ilmoittamat korjauk-

set havaittuihin haavoittuvuuksiin on johdonmukaista päivittää kaikkiin verkkolaitteisiin.

Laitevalmistajan konsultoinnin jälkeen L2-tason liityntäkytkimeksi päättyi ominaisuuksiltaan toimeksiantajan tarpeisiin sopiva HP 2530. Mallia on tarjolla PoE-ominaisuuden kera tai ilman, ja joko 8-, 24- tai 48-porttisena (kaikki portit ovat 1GbE). Lisäksi kytkimessä on neljä 1GbE SFP-porttia, jotka tarjoavat mahdollisuuden toteuttaa LACP-porttikanavia kuituoptiikoilla kohti IRF-pinoa ja useamman liityntäkytkimen ”putkittamisen” niissä kohdissa yrityksen toimitiloja, joissa etäisyydet ja ympäristö estävät kuituvedot liityntäkytkimiltä suoraan kohti runkokytkimiä. Taatut käyttöjärjestelmäpäivitykset ja elinikäinen takuu varmistavat jatkuvuuden vuosiksi eteenpäin. Yrityksen vanhoja liityntäkytkimiä uusitaan sitä mukaa, kun vanhimmasta päästä olevat laitteet osoittavat ikääntymisen merkkejä.

Runkokerroksen kytkimen valinta oli luonnollisesti vaikeampi, sillä huomioon otettavia seikkoja oli enemmän. Verkon rakenteelle asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi päätettiin käyttää HP:n IRF-tekniikkaa, ja se poisti modulaaristen kytkinten tarpeen. Lisäksi oli arvioitava talossa käytettävien liityntäkytkimien määrä, ja kuinka suuri osa niistä voidaan liittää runkokytkimiin vähintään kaksi fyysistä 1GbE-rajapintaa sisältävillä porttikanavilla. Koska myös palvelimien ja palomuurin uusiminen osuu tulevien runkokytkinten elinkaaren ajalle, täytyi asiaa miettiä monelta kantilta. Niinpä katse suuntautui HP:n 5900- ja 5800-sarjojen kytkimiin, jotka ovat kokoluokaltaan sopivia Keskisen kaltaiselle yritykselle.

Monien vaiheiden sekä laitevalmistajan ja kolmannen osapuolen suositusten jälkeen valinnaksi päättyi malli 5820AF-24XG-SFP+. Kyseisessä kytkimessä on 24 kappaletta 10GbE SFP+ -porttia, jotka ovat taaksepäin yhteensopivia myös 1GbE-kuituoptiikoiden kanssa. Näin portteja on riittävästi liityntäkytkimien porttikanavia varten, ja tulevat 10GbE-liitynnät (uudet kytkimet, palvelimet, palomuuuri) onnistuvat myös. Lisäksi runkokerroksen IRF-linkkien nopeutta voidaan kasvattaa lisäämällä IRF-linkkien fyysisten porttien määrää, sillä kaikki portit tukevat 10GbE-optiikoita.

10GbE tai 1GbE kuituoptiikoita hankitaan runkokytkinten yhteydessä tietty määrä, että saadaan suurin hyöty irti tilauksen alennetuista hinnoista ja keskeisimmät linkkivälit voidaan toteuttaa. Linkkimäärien kasvaessa hankitaan uusia kuituoptiikoita tarpeen mukaan. Näin kustannukset pysyvät aisoissa ja niitä voidaan hajauttaa pidemmälle aikavälille. Yritys maksaa vain siitä, mitä se käyttää.

## 4.4 Verkon uusi topologia

### 4.4.1 Lähtökohdat ja tavoitteet

Kokonaisuutta miettiessä verkolle asetetut tavoitteet, hallinnassa pysyvä budjetti ja mahdollisimman realistinen arvio tulevaisuuden vaatimuksista verkolle piti sovittaa yhteen. Verkkouudistuksen laajuus pysyi opinnäytetyöhön sopivissa raameissa, sillä kyseessä on yksi toimipiste, joten esimerkiksi reititystä eri kaupungeissa sijaitsevien toimipisteiden ja datakeskuksen välillä ei siis tällä hetkellä tarvita ja VPN-yhteydet ovat rajattu työn ulkopuolelle. Koska toimeksiantajan verkkoympäristössä on käytetty HP:n kytkimiä ja tarkoituksena oli jatkaa samalla linjalla, ei muiden laitevalmistajien tarjoamia vaihtoehtoja otettu vertailuun. HP tarjosikin laajan skaalan eri vaihtoehtoja kytkinverkon toteutukseen.

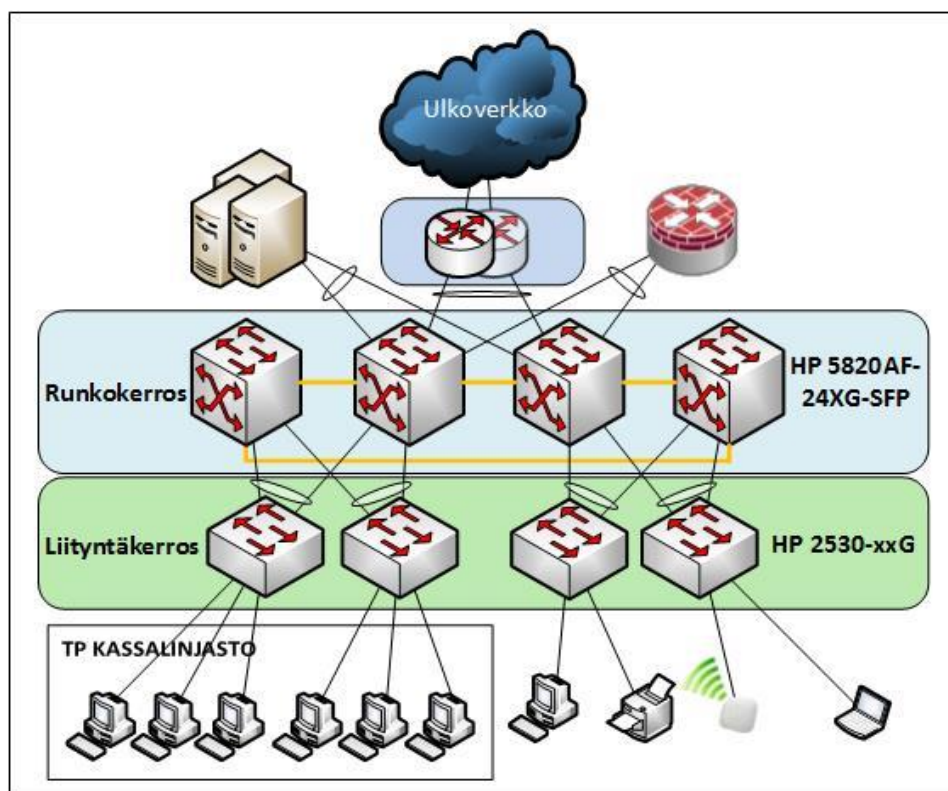
Aktiivilaitteiden virtualisointiin tarkoitettu IRF-teknologia houkutteli heti alussa. Sen suomat edut sopivat kiistattomasti myös Keskisen verkkoympäristöön.

Veljekset Keskisen verkkoympäristössä liityntäkerroksen tarve on selvä, koska pääte-laitteita on paljon koko yrityskompleksin alueella ja liityntäkytkimien määrä on suuri. Tarvetta kolmen kerroksen hierarkiaan ei ilmennyt, koska kyseessä on vain yksi (joskin maantieteellisesti hyvin laaja) toimipiste ja paikallinen palvelinsali. Esimerkiksi useiden toimipisteiden jakelukytkimien välittämää liikennettä ei siis tarvitse kerätä keskitetysti runkokerroksen reititettäväksi. Niinpä Keskisen verkossa voidaan sulauttaa kolmitasomallin runko- ja jakelukerros yhdeksi, *collapsed core* -malliin. Tätä kerrosta kutsutaan opinnäytetyössä runkokerrokseksi.

Kolmannen kerroksen puuttuessa, runkokerroksen täytyy olla vikasietoinen ja sen porttitiheyden on oltava tarpeeksi suuri. Ilman IRF-teknologiaa runkokytkimet täytyisi sijoittaa Palvelinhuoneeseen, mikä tarkoittaisi liian pitkiä etäisyyksiä kuiduille ja tarvetta jakelukerrokselle. IRF:n avulla runkokytkimet voidaan hajauttaa fyysisesti ympäri yrityksen tiloja, ja näin pienennetään runko- ja liityntäkerroksen välisten linkkien etäisyyksiä.

Hierarkkisen verkkotopologian avulla voidaan vähentää aktiivilaitteiden määrää tietoliikenteen reiteillä, sillä mahdollisimman monilta liityntäkytkimiltä luodaan suora yhteys runkokytkimiin. Topologian selkeä jakaminen liityntä- ja runkokerrokseen helpottaa verkon hallintaa ja vianetsintää. Palvelimet tuodaan keskitetysti lähelle runkoa (ja myöhemmin runkoon kiinni), jolloin työasemien ja palvelimien välinen liikenne on mahdollisimman suoraa. Toimeksiantaja aikoo tulevaisuudessa uusia myös palomuuriratkaisunsa, joten verkon rakenteen suunnittelussa on otettu sekin huomioon. Tarkoituksena on, että uusi fyysinen palomuuuri voidaan sijoittaa verkossa runkokytkinten ja internet-yhdyskäytävien väliin. Näin saadaan ulos suuntautuva liikennevirta kiertämään loogista reittiä, mikä on nykyisessä verkossa epäonnistunut.

Kuviossa 28 on kuvattu Keskisen hierarkkinen verkkorakenne. Huomioitavaa on myös, miten kriittisten kassalinjastojen vikasietoisuutta parannetaan verkon osalta: kassat jaetaan kahteen eri liityntäkytkimeen, jotka liitetään porttikanavilla IRF-rungon eri kytkimiin. Näin saadaan varmistettua korttimaksuliikenteen pääsy ulko verkkoon. Työasema-VLANit terminoidaan runkokerroksen virtuaalisiin L3-rajapintoihin, jotka toimivat yhdyskäytävinä VLANien aliverkoille.



Kuvio 28. Kaksitasoinen hierarkkinen topologia Keskisen ympäristössä

#### 4.4.2 10GbE-runko ja IRF-kytkinten sijoittaminen

Jo liitteestä 1 on havaittavissa etäisyyksien ja nykyisten 1GbE-kuituvetojen kannalta selkeät solmukohdat. Verkko uudistus toteutetaan vaiheittain, joten uutta 10GbE OM3 –kuitua ei vedetä ympäri taloa heti ensimmäisessä vaiheessa, vaan ainoastaan keskeisiin paikkoihin 10GbE-runkon aikaan saamiseksi. Koska toimeksiantajan on tarkoitus siirtää varmuuskopiointipalvelimet nykyisestä Palvelinhuoneesta uuteen *Disaster Recovery* –laitetilaan (DR-site) ja keskittää muun muassa toimistotilojen liityntäkytkimet sinne, on kyseisen sijainnin oltava 10GbE-runkon varrella jo alkuvaiheessa. Solmukohdat ovat kuvaavilta nimiltään: *Palvelinhuone*, *Laitehuone1*, *Laitehuone2* ja *DR-site*.

Tämä tarkoittaa, että näihin keskeisiin paikkoihin on sijoitettava 10GbE IRF-kytkimet, joihin talon liityntäkytkimien uplink-kuidut voidaan liittää. Olennaista on myös operaattorin yksimuotokuitujen jatkaminen nykyisestä Laitehuone1:stä tekniseen laitetilaan, joka sijaitsee Palvelinhuoneen välittömässä läheisyydessä. Näin saadaan myös

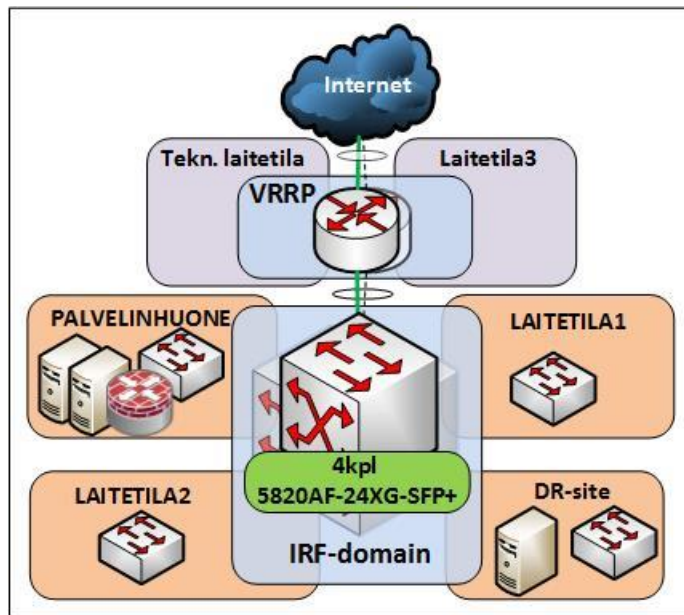
operaattorin hallinnoimat reitittimet Palvelinhuoneen läheisyyteen, jolloin pääsyä voidaan valvoa paremmin.

Toimeksiantaja katsoi riittäväksi toteuttaa 10GbE-linkit monimuotokuidulla yksimuodon sijaan. Kuidun täytyy olla mallia OM3, joka mahdollistaa 10GbE-nopeudelle yli 300 metrin etäisyydet. Tarkoituksena on myös muodostaa rengastopologia IRF-jäsenkytkinten välille, joten kuituvedot täytyi suunnitella sen mukaan. Yrityksessä suoritettujen mittausten perusteella 10GbE-kuituvedot solmukohtien välillä voidaan toteuttaa liitteen 2 mukaisesti. Liitteessä 2 on kuvattu myös, kuinka operaattorilta saapuvat yksimuotokuitu ja internet-reitittimet tuodaan Palvelinhuoneen viereen, jolloin saadaan suora reitti sisäverkosta internet-yhdyskäytävään (vertaa kuvioon 3). Kuidut kulkevat fyysisesti eri reittejä, ja se tuo lisää vikasietoisuutta.

#### **4.4.3 IRF-topologia**

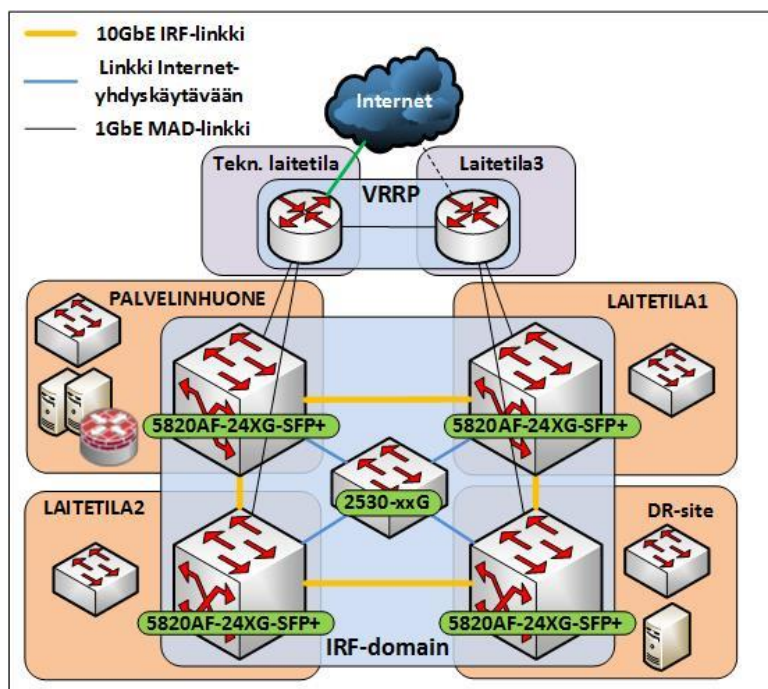
IRF-topologian eri toteutusvaihtoehtojen vertailun jälkeen päädyttiin muodostamaan neljästä kytkimestä yksi IRF-domain. IRF-tekniikan hyödyt tulevat Keskisen verkkoympäristössä parhaiten esiin tässä vaihtoehdossa. Yritys laajentaa jälleen vuonna 2014 ja toimitilat muuttuvat jatkuvasti, joten kyky mukautua rakennuksen muutoksiin on suuressa roolissa. Nyt koko runkokerros pystytään levittämään fyysisesti talon laidalta laidalle keskeisiin solmukohtiin, ja silti hallittavaksi jää ainoastaan yksi looginen kytkin. Usean kytkimen virtualisointi ei kuitenkaan vaikeuta vianetsintää, sillä käyttöön otettava HP:n IMC-verkonhallintaohjelmisto kattaa myös IRF-domainien hallinnan. Vaihtoehtoiset IRF-toteutukset ovat esitelty luvussa 4.5.

Kuviossa 29 on esitetty opinnäytetyön tuloksena käyttöön otettava looginen runkokerros. Siitä on havaittavissa, kuinka yksi IRF-domain yhdistää neljä eri sijaintia yksinkertaistaen topologiaa.



Kuvio 29 IRF looginen topologia Keskisen ympäristössä

Kuviossa 30 on esitetty tuleva fyysinen IRF-topologia käyttäen aiemmin esiteltyä LACP MAD-tekniikkaa, joka vaatii välittäjäkytkimen. Kuviossa havainnollistetaan ai-noastaan sijaintien yhteys toisiin eikä mennä vielä rajapinta-tasoiseen topologiaan, sillä se vaihe muotoutuu testiympäristössä ja lopullisesti vasta otettaessa ympäristöä käyttöön.



Kuvio 30. IRF fyysinen topologia Keskisen ympäristössä



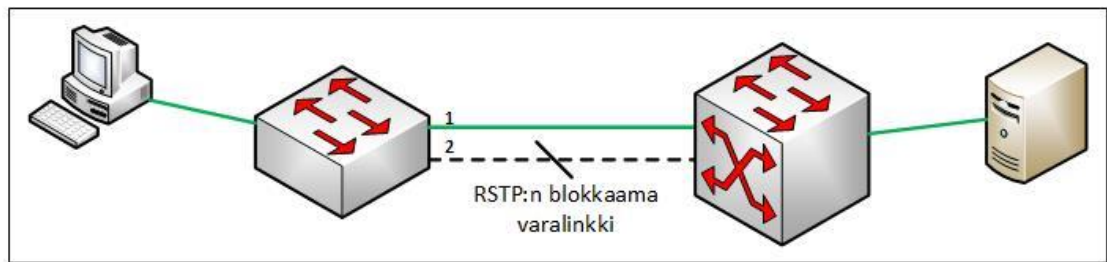
Verkko siis skaalautuu ja joustaa hyvin tulevaisuuden muutoksia ajatellen, kunhan LACP MAD:n tarvitsema välittäjäkytkin sijoitetaan niin, että jokaiselta uudeltakin IRF-jäsenkytkimeltä saadaan siihen yhteys. IRF-linkkien nopeutta ja vikasietoisuutta voidaan kasvattaa lisäämällä uusia fyysisiä portteja IRF-linkkiin, joten verkon suorituskyky riittää näiden aktiivilaitteiden elinkaareksi. Jokainen uusi IRF-kytkin lisää myös domainin suorituskykyä ja porttimäärää.

Palvelinraudan uusiminen on piakkoin ajankohtaista, ja tämä oli tiedossa jo suunnitteluvaiheessa. Tähän muutokseen vastauksena on verkon osalta lisätä toinen IRF-jäsenkytkin Palvelinhuoneeseen, jolloin siellä IRF-kytkimien liityntäporttien määrä tuplaantuu, ja uudet palvelimet voidaan liittää suoraan kahden eri IRF-kytkimien 10GbE-portteihin. Palvelimet voitaisiin myös yhdistää Palvelinhuoneen ja Laitetila2:n IRF-kytkimiin, mutta tämä aiheuttaisi turhaa epäselvyyttä kuituvetoihin ja lisää ylläpidollista taakkaa. Tämän vuoksi Palvelinhuoneeseen on tulevaisuudessa hyvä sijoittaa kaksi IRF-kytkintä. Kyseisen ratkaisun ansiosta voidaan myös poistaa liityntäkerros palvelinten ja IRF-domainin väliltä, jolloin palvelimet sijoitetaan suoraan runko-kerrokselle (työasemilta palvelimille -reitillä olisi kaksi aktiivilaitetta vähemmän).

Palomuurin uusiminen on myös pian ajankohtaista Keskisellä, ja käyttöön otettava verkkorakenne palvelee myös siirtymistä uuteen palomuuriin, oli sitten kyseessä fyysinen ”inline”- palomuuuri tai virtuaalipalvelin-klusteriin sijoitettava virtuaalinen palomuuuri. Nykyistä palomuuriratkaisua verkkouudistus parantaa siirtämällä osan reitityksestä IRF-kytkimille ja liikennevirta kulkee järkevämmiin hierarkkisessa verkossa.

#### 4.4.4 Liityntäkytkimien vikasietoisuus

Ensimmäinen askel *Single point of failure* –kohtien määrän vähentämiseksi on minimoida valokuitujen ja yksittäisten porttien häiriöistä johtuvat katkokset. Tämä onnistuu kahdentamalla linkkivälit aktiivilaitteiden välillä. Ilman IRF-tekniikkaa RSTP estäisi silmukan muodostumisen ohella myös toisen varalinkin toiminnan, ja palauttaisi varalinkin käyttöön vasta toisen vikaantuessa kuvion 31 mukaisesti.

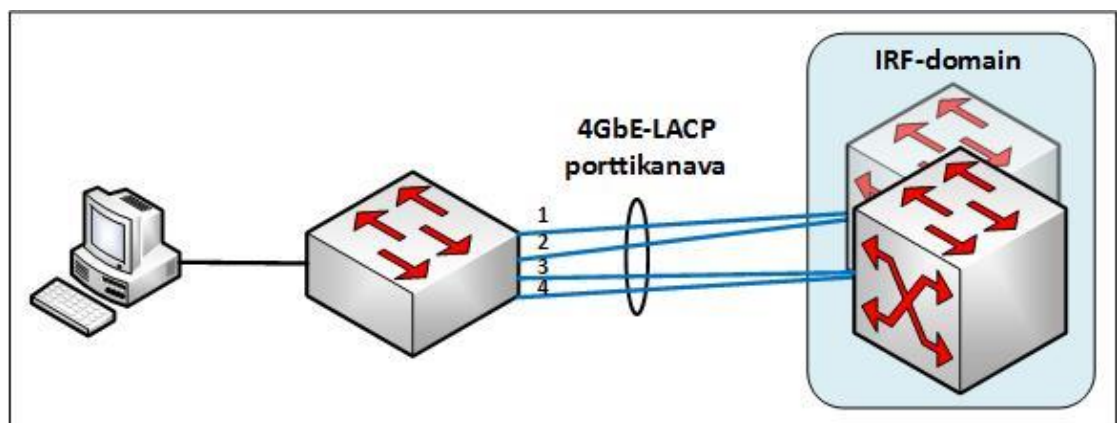


Kuvio 31. Linkkivälin kahdentaminen

Hierarkkinen verkkotopologia ja IRF-tekniikka mahdollistavat *dual homing* –menetelmän aktiivilaitteiden välillä. Termi tarkoittaa vikasietoisten linkkivälien rakentamista. Aktiivilaitteiden välillä tulisi olla vähintään kaksi eri fyysistä linkkiä, jotka parhaassa tapauksessa kulkevat fyysisesti eri reittiä. Toimeksiantajan verkossa sovelletaan menetelmää sekä palvelimilla että aktiivilaitteilla.

LACP-porttikanavia tullaan hyödyntämään liityntä –ja IRF-kytkinten välisissä linkeissä. Hajautetussa porttikanavassa toinen pää yhdistyy kahteen eri IRF-jäsenkytkimeen lisäten vikasietoisuutta ja näkyen topologiassa silti vain kahden laitteen välisenä yhtenä loogisena porttina.

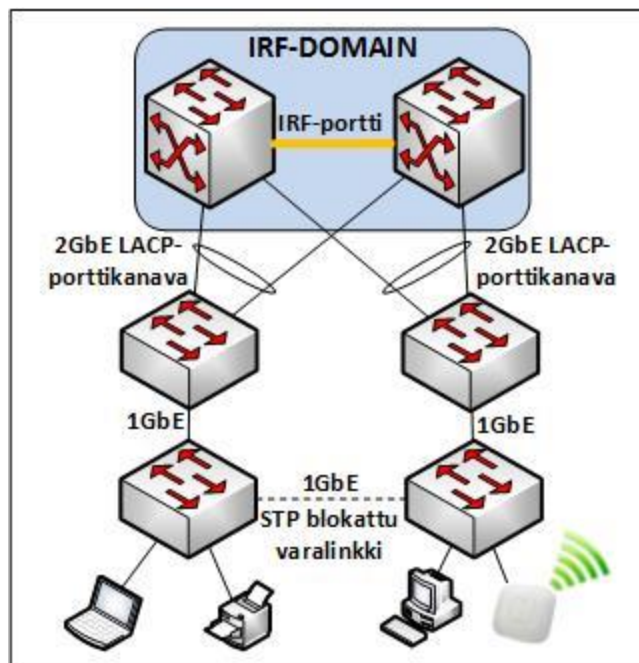
Toimeksiantajan liityntäkytkimeksi valitulla 2530-kytkimellä on mahdollista sisällyttää enintään 4 eri kuituporttia uplink-porttikanavaan. Kuviossa 32 on esitetty 2530-kytkimen neljän fyysisen 1GbE-rajapinnan muodostama porttikanava IRF-pinon kahteen eri fyysiseen jäsenkytkimeen. Kanava näkyy yhtenä loogisena porttina, eikä STP blokkaa yhtään linkkiä.



Kuvio 32. LACP-porttikanava IRF:n ja liityntäkytkimen välissä

Keskisen verkkoympäristössä on pitkien etäisyyksien vuoksi perusteltua ketjuttaa muutamia vähemmän kriittisiä liityntäkytkimiä toistensa perään. Näiltä kytkimiltä ei ole tarvetta vetää uusia kuituja kohti IRF-kytkinten sijainteja, vaan voidaan hyödyntää liityntäkytkinten välillä olevia valmiita kuituja.

Kuviossa 33 on kuvattu topologia, jossa yrityksen toiminnan kannalta ei-niin-kriittisiä liityntäkytkimiä on ketjutettu peräkkäin. Mahdollisuuksien mukaan linkit liityntäkytkinten välillä toteutetaan porttikanavilla. Joka tapauksessa reitin on oltava suoraan kohti IRF-kytkimiä, ja tämä onnistuu muokkaamalla rajapintojen ja porttikanavien cost-arvoja, joita Spanning Tree käyttää muodostaessaan topologiaa.



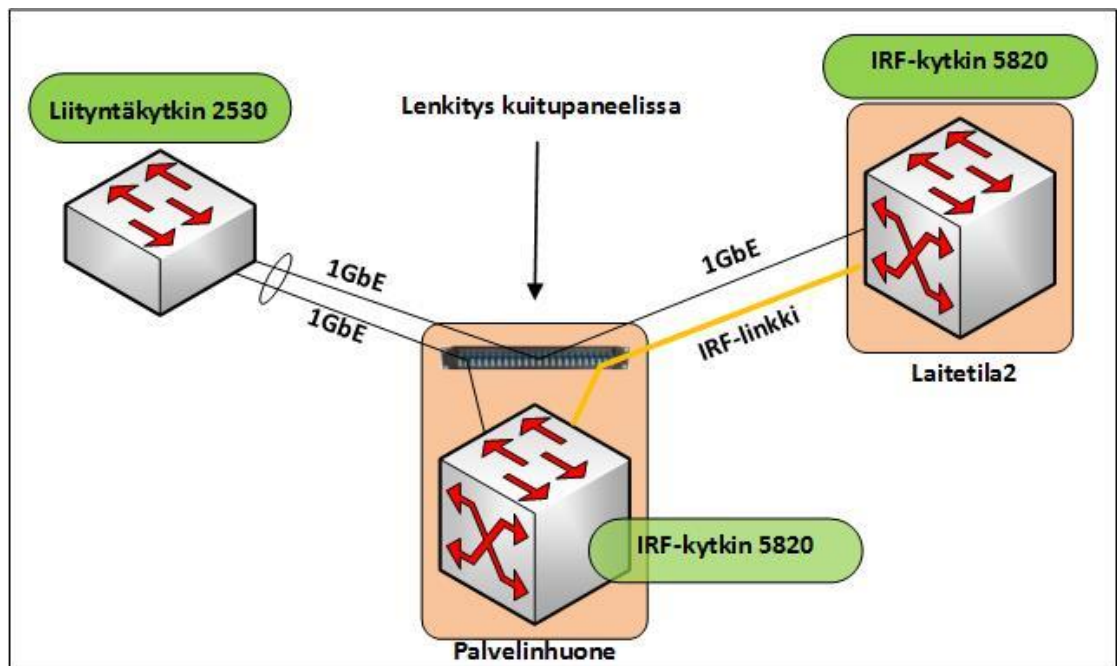
Kuvio 33. Liityntäkytkinten ketjutus

#### 4.4.5 Kuitujen lenkitys

Neljä runkokytkintä on sijoitettu eri puolille kauppaa keskeisiin kohtiin niin, että mahdollisimman monelta liityntäkytkimeltä saataisiin linkki kahteen eri runkokytkimeen. Tämä kuitenkin tarkoittaa käytännössä uusia kuituvetoja pitkin rakennusta, sillä kovin monesta kytkinkaapista ei lähde suoraa kuitua kohti runkokytkinten sijoituspaikkoja.

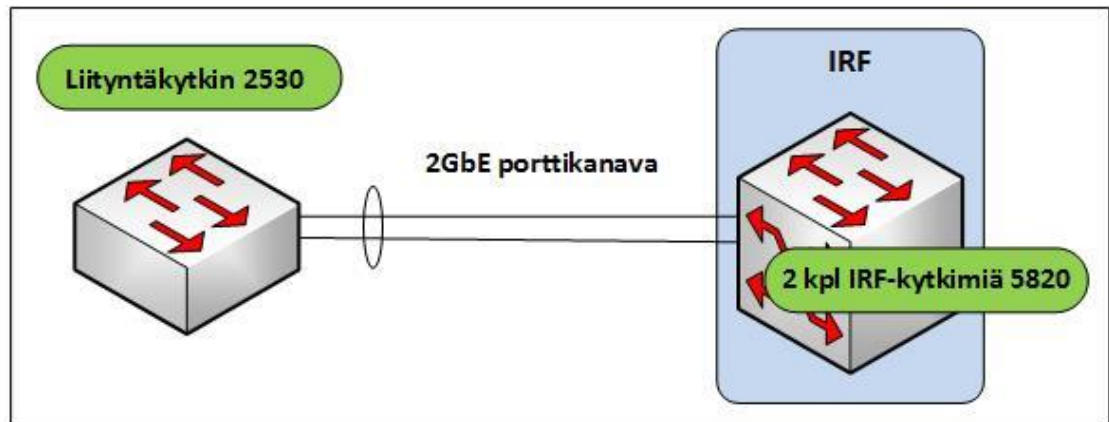
Mikäli jokaiselta kaupan kytkinkaapilta vedettäisiin kuidut kohti kahta eri IRF-kytkintä, kuituvetojen kustannukset ja työn määrä nousisivat rajusti. Näin ollen kustannusten kasvun hillitsemiseksi voidaan hyödyntää kuituparien lenkittämistä kuitupaneelissa.

”Lenkittäminen” tarkoittaa nykyisten tai uusien kuituvetojen jatkamista kytkinkaapista toiseen ilman aktiivilaitetta niiden välissä. Kuviossa 34 esitellään kuidun lenkittämisen idea Keskisen ympäristössä käyttäen esimerkkeinä Palvelinhuoneen ja Laitetila2:n runkokytkimiä. Kuviossa runkokytkimen kaappiin saapuu liityntäkytkimeltä kaksi kuituparia. Toinen pari kytketään paneelista suoraan kaapissa sijaitsevaan IRF-kytkimen porttiin, kun taas toinen pari kytketään toiseen paneelissa sijaitsevaan kuitupariin kytkentäkuidulla. Yhteys jatkaa matkaansa kohti Laitetila2:sta, jossa se kytketään toiseen IRF-kytkimeen. Näin liityntäkytkimen sijainnista ei tarvitse vetää erikseen kuituja kohti sekä Palvelinhuonetta että Laitetila2:sta.



Kuvio 34. Kuituparin lenkitys, fyysinen näkymä

Kuvion 34 lenkitetty kytkentä näyttää loogisesti kuvion 35 mukaiselta kytkennältä, jossa tulee esille IRF-teknologian edut ja LACP-porttikanava.



Kuvio 35. Kuituparin lenkitys, looginen näkymä

Kuitujen lenkityksessä tulee ottaa huomioon etäisyydet, sillä kuidussa tapahtuu vaimenemista. Lisäksi ylimääräinen kytkentäkuitu paneelin kuituparista toiseen lisää vaimenemista. Kyläkaupan etäisyydet ovat kuitenkin sen verran pieniä, että lenkitäminen on mahdollista. Kuituparien dokumentointi on erittäin tärkeää, jotta verkon toteutus eivät kärsi väärin yhdistetyistä kuitupareista.

## 4.5 Vaihtoehtoiset toteutustavat

### 4.5.1 Lähtökohdat

Tässä luvussa esitellään lyhyesti vaihtoehtoiset tavat toteuttaa 10GbE IRF-kytkinten jakelukerros Keskisen verkkoympäristöön, sillä suunnitteluvaiheessa täytyi miettiä eri vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia.

Suunnittelu aloitettiin miettimällä liikaa sekä 10GbE- että 1GbE-kuituvedoissa saattavia säästöjä. Aluksi olikin tavoitteena jättää Laitetila2 10GbE-rungon ulkopuolelle verkkouudistuksen ja sisällyttää se mukaan vasta myöhemmin. Kuten seuraavat kaksi vaihtoehtoa rungon toteutukselle näyttävät, oli Laitetila2 kuitenkin syytä ottaa mukaan jo tässä vaiheessa. Kyseiseen tilaan on vedetty päärakennuksen ulkopuolella sijaitsevien rakennusten valokuituja, joten valmiit putket uusille kuiduille vetonarui-

neen ja 10GbE:n etäisyysrajoitukset lisäsivät Laitetila2:n 10GbE-rungon yhdeksi solmukohdaksi.

Koska runkokerroksen 10GbE-porttien kustannukset ovat korkeimpia, myös niiden käyttö oli harkittava asia. Suunnitteluvaiheessa ei vielä ollut selvillä lopullinen runkokerroksen kytkinmalli, joten mahdollisten 10GbE-porttien lukumäärä vaihteli. Ylimääräisten 10GbE-linjakorttien käyttäminen oli myös vaihtoehtona, joskin niiden sijoittaminen kytkimen takapaneeliin ei houkutellut yksinkertaisesti hankalien kaapelointijärjestelyjen vuoksi. Vaikka lopulta valituksi tullessa kytkinmallissa 10GbE-portteja on 24 kappaletta etupaneelissa, IRF-toteutuksessa pyrittiin kuitenkin säästämään portteja skaalautuvuuden takia. Porttimäärissä lähtökohtana oli, että IRF-linkkeihin ja L2-porttikanaviin tarvitaan vähintään kaksi fyysistä porttia.

Taulukossa 3 on esitetty käyttöön otettavaan yhden IRF-domainin malliin tarvittavat 10GbE-portit.

Taulukko 3. Yhden IRF-domainin 10GbE-portit

<b>1 IRF-domain, 4 fyysistä runkokytkintä</b>		
	<b>Lukumäärä per kytkin</b>	
		<b>Yhteensä:</b>
<b>IRF-linkkien portit (väh.)</b>	<b>2</b>	<b>8</b>
<b>L2-porttikanavien porttimäärä domainien välillä (väh.)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Käytetyt 10GbE-portit yhteensä:</b>		<b>8</b>

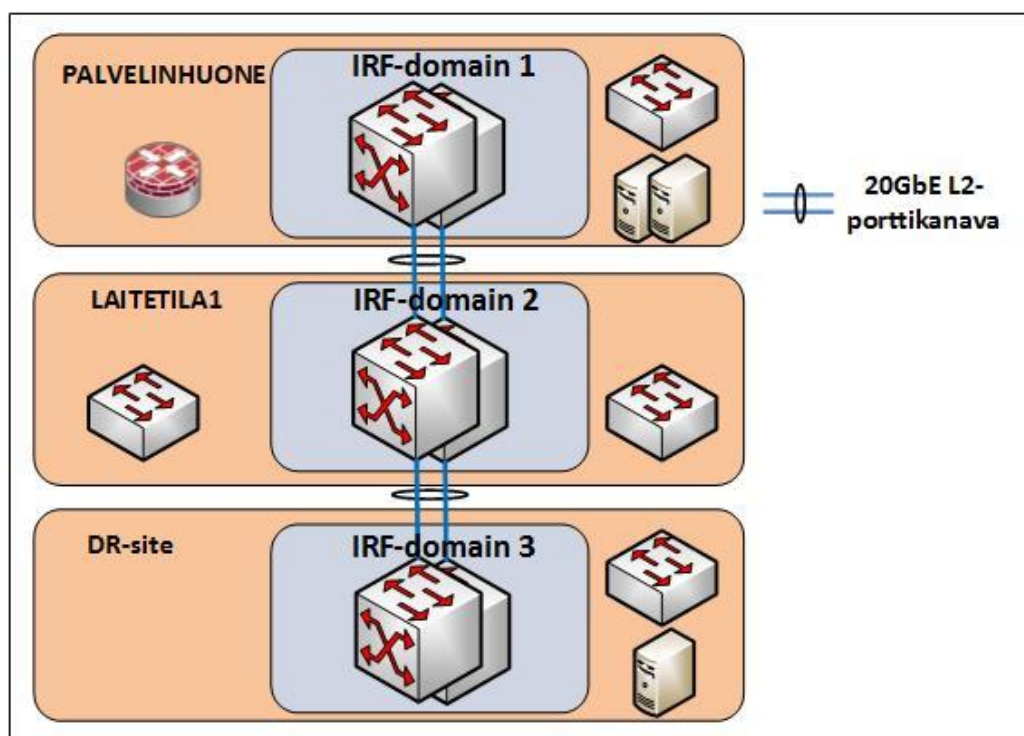
#### 4.5.2 Kolme erillistä IRF-domainia

Aluksi harkittavana oli kolmen eri IRF-domainin malli, jossa 10GbE-kuitua ei vielä tuoda Laitetila2:en, vaan IRF-kytkinten sijainteja on kolme. Jokaisessa solmukohdassa on oma IRF-domain, joka sisältää kaksi fyysistä IRF-kytkintä. Näin ollen IRF-kytkimiä tulisi yhteensä 6 kappaletta. IRF-domainin välinen rengastopologia ei ole mahdollista etäisyyksien vuoksi, vaan ne muodostavat *daisy chain* -topologian L2-porttikanavilla.

Kolmen IRF-domainin mallissa säästöjä ja helpotuksia tulisi käytännön kuituvedoissa, sillä liityntäkytkinten *dual homing* -menetelmään tarvittavat kaksi eri runkokerroksen IRF-kytkintä sijaitsisivat samassa paikassa samassa räkissä. Näin ollen liityntäkytkimien kytkentäkaapeilta ympäri kauppaa tarvitsisi vetää kuidut keskitetysti vain yhteen sijaintiin.

Tämä ratkaisu vaatii kuitenkin kuusi IRF-kytkintä, jolloin laitehankintojen kustannukset nousevat. Lisäksi IRF-tekniikan suoma etu - topologian yksinkertaistaminen – jäisi saavuttamatta suurilta osin, sillä runkokerroksella olisi kolme erillistä kokonaisuutta. Ja koska runkokerroksen kytkimet toimivat L3-yhdyskäytävänä liityntätason L2-laitteille, täytyisi IRF-domainien välille muodostaa L2-porttikanavat ja konfiguroida L3-rajapinnat ainoastaan yhteen IRF-domainiin. Lopullinen IRF-kytkimen malli ei ollut suunnittelun tässä vaiheessa vielä tiedossa, joten 10GbE-porttien säästäminen kytkimissä oli tärkeää. Kolmen IRF-domainin mallissa portteja täytyy omistaa IRF-linkeille vähintään kaksi per kytkin, ja L2-porttikanavaan kohti toista domainia myös vähintään kaksi.

Kuviossa 36 on esitetty kolmen eri IRF-domainin ratkaisu.



Kuvio 36. Kolme erillistä IRF-domainia



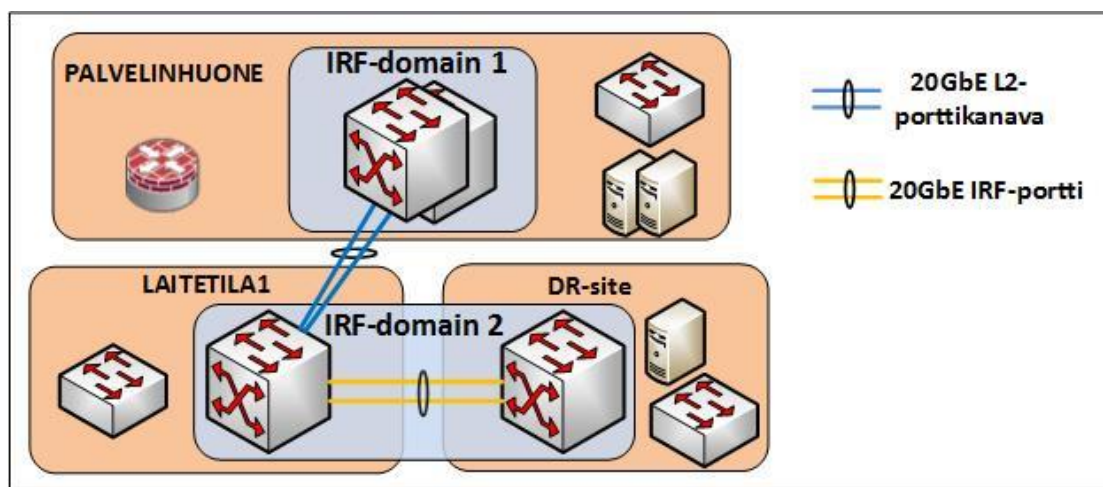
Taulukossa 4 on esitetty kolmen eri IRF-domainin kuluttamien 10GbE-porttien määrä. Porttikohtaiset kustannukset ovat korkeat verrattuna yhteen IRF-domainiin.

Taulukko 4. Kolmen IRF-domainin 10GbE-portit

<b>3 IRF-domainia, 6 fyysistä runkokytkintä</b>		
	Lukumäärä per kytkin	
		Yhteensä:
IRF-linkkien portit (väh.)	2	12
L2-porttikanavien porttimäärä domainien välillä (väh.)	2	12
Käytetyt 10GbE-portit yhteensä:		24

#### 4.5.3 Kaksi erillistä IRF-domainia

Edellistä kolmen domainin mallia yksinkertaisempi vaihtoehto on karsia IRF-domainien määrä kahteen, koska Laitetila1 ja DR-site sijaitsevat lähellä toisiaan. Näihin molempiin sijoitetaan ainoastaan yksi IRF-kytkin, ja niistä muodostetaan oma IRF-domain. Tällä tavoin loogisessa näkymässä saadaan yhdistettyä nämä kaksi sijaintia ja kytkintä yhdeksi. Tämä vähentää fyysisten IRF-kytkinten määrää kuudesta neljään, mikä laskee laitehankintojen kustannuksia merkittävästi. Domainien välille muodostetaan L2-porttikanava 10GbE-linkeillä, joiden kuidut kulkevat vikasietoisuuden vuoksi fyysisesti eri reittiä. Kuviossa 37 on esitetty kahden IRF-domainin ratkaisu.



Kuvio 37. Kaksi erillistä IRF-domainia



Tässä mallissa kuituvetoja voitaisiin silti keskittää Palvelinhuoneeseen ja hyödyntää valmiita 1GbE-kuituvetoja Laitetila1:en ja DR-siteen lenkittämällä kuituja kytkentäpaneelissa.

Taulukossa 6 on esitetty kahden eri IRF-domainin mallin vaatimien 10GbE-porttien lukumäärät.

Taulukko 5. Kahden IRF-domainin 10GbE-portit

<b>2 IRF-domainia, 4 fyysistä runkokytkintä</b>		
	Lukumäärä per	
	kytkin	Yhteensä:
IRF-linkkien portit (väh.)	2	8
L2-porttikanavien porttimäärä domainien välillä (väh.)	2	8
Käytetyt 10GbE-portit yhteensä:		16

## 4.6 Palvelimien saatavuuden turvaaminen

### 4.6.1 Lähtökohdat

Kyläkaupalla on käytössään virtualisoitu palvelinympäristö, jota pyörittää 3 eri fyysistä palvelinta. Lisäksi käytössä on vielä muutama fyysinen palvelin, joiden toiminta on tarkoitettu virtualisoida tulevaisuudessa. Yrityksen sisäinen verkkoliikenne palvelimille tulee kasvamaan, sillä esimerkiksi IP-pohjaisten turvakameroiden määrä lisääntyy jatkuvasti ja kuvanlaatu paranee.

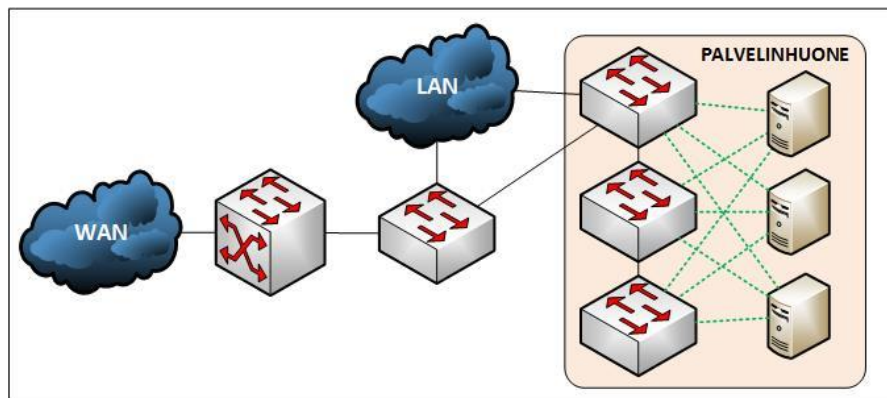
Opinnäytetyössä ei oteta kantaa palvelimien sisäisten virtuaalikytkimien konfigurointiin. Lähtökohtana on nykyinen malli, jossa virtuaaliympäristö jakaa itse kuorman tasaisesti eri linkeille ilman, että aktiivilaitteissa tarvitsee tehdä toimenpiteitä. Yhdessä fyysisessä palvelimessa on 4 kappaletta 1GbE-verkkorajapintoja, joiden kautta palvelinalusta tasaa kuormaa virtuaalipalvelimien kesken. Näin ollen työssä keskity-

tään fyysisen palvelinraudan saatavuuden varmistamiseen oikeanlaisella verkkotopologiaratkaisulla.

Palvelinhuoneen verkkoratkaisujen vaatimuksina ovat muun sisäverkon tavoin korkea saatavuus (redundanttiset linkit), kuormanjako (porttikanavat) ja skaalautuvuus. Mahdollisten uusien fyysisten palvelimien lisääminen tulee olla johdonmukainen prosessi, ja linkkivälien tulee olla riittävän nopeat.

#### 4.6.2 Palvelimien nykyinen topologia

Tällä hetkellä palvelimet sijaitsevat litteän L2-verkon reunalla ja ovat saatavissa eri kytkimien kautta. Palvelinhuone on topologian kannalta yksi solmukohta verkossa, jonka kautta kulkee valokuituja muihin osiin taloa. Kuviossa 38 on esitetty palvelimien nykyinen topologia:



Kuvio 38. Palvelimien nykyinen topologia

Kuten yllä olevasta kuvioista näkyy, on topologiassa jälleen läsnä *single point of failure* –uhka. Palvelinhuoneen liityntäkytkimet muodostavat ketjutopologian, jolloin ne eivät ole vikasietoisemmassa ja pinoamiseen suositeltavassa rengastopologiassa. Lisäksi kyseisten kytkimien kautta kulkee vielä kuituyhteyksiä muihinkin talon kytkimiin.

#### 4.6.3 Palvelimien uudistettu topologia

Palvelinhuoneen topologia toteutetaan muun verkon tavoin *"collapsed core"* – verkkomallin mukaan. Koska nykyisissä palvelimissa on käytössä kupariportit, verk-

kouudistuksen ensimmäisessä vaiheessa Palvelinhuoneeseen tehdään liityntäkerros kahdella eri 2530-kytkimellä. Runkokytkeeseen on myös saatavilla RJ45 SFP –optiikoita, mutta niiden hankkiminen olisi turha kustannuserä ennen uuden palvelinraudan hankkimista. Palvelinhuoneeseen tulee aluksi ainoastaan yksi runkokytke, joten *dual homing* vaatisi Laitetila2:n runkokytkeiden käyttöä. Sijaintien väliset etäisyydet ovat liian suuret kuparilinkeille, joten liityntäkerros palvelimille on perusteltu. Kyseessä on väliaikainen ratkaisu, ennen kuin palvelimet uusitaan 10GbE-liitännöin ja hankitaan toinen runkokytke Palvelinhuoneeseen.

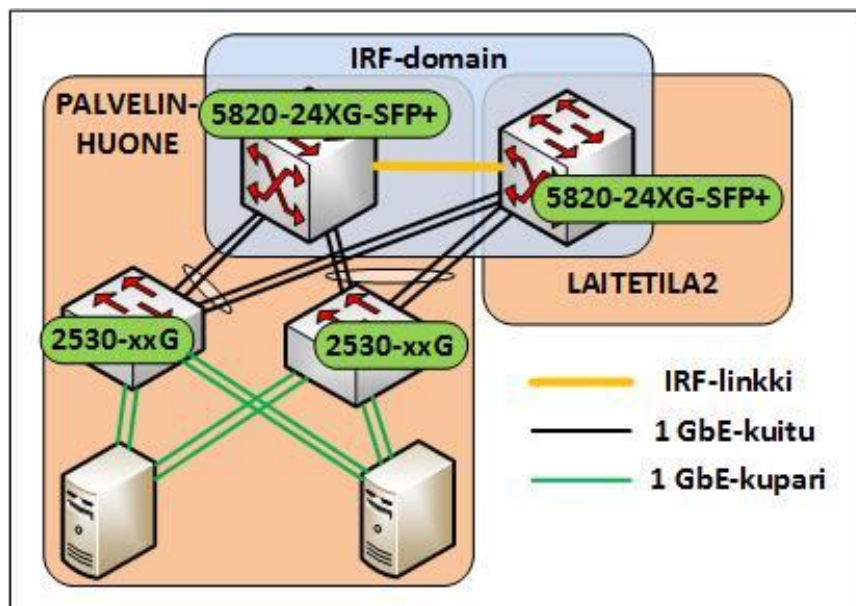
Palvelimien sijoittamiseen liityntäkerrokselle on myös seuraavia syitä:

- Palvelimille on tarjolla suurempi (ja halvempi) porttitiheys
- Mahdollisuus ”*single homed*”- ja ”*dual homed*” –palvelimiin
- Matalan viiveen L2-kytkentä mahdollistaa korkean suorituskyvyn. (Bruno, Jordan 2011, 137.)

Virtuaalipalvelinjärjestelmän sisäinen kuormanjako on toteutettu siten, että se ei vaadi 2530-kytkimien 1GbE-liityntäporttien yhdistämistä LACP-porttikanavaksi, jolloin palvelimen jokainen verkkorajapinta liitettäisiin samaan kytkimeen kyseisen porttikanavan osaksi. Sen sijaan palvelimien verkkorajapinnat liitetään puoliksi kahden eri 2530-kytkimen 1GbE-liityntäportteihin, jolloin tietoliikenne kulkee verkkoon eri kytkimien kautta. Tämä ratkaisu vähentää palvelukatkoksen riskiä toisen 2530-kytkimen hajotessa.

Palvelinten liityntäkytkimet liitetään runkokerrokseen soveltaen *dual homing* –menetelmää. LACP-porttikanaviin liityntä- ja runkokerroksen välille on käytettävä vähintään kaksi fyysistä porttia. Toimeksiantaja päättikin käyttää suoraan kaikki neljä 2530-kytkimen uplink-porttia, jolloin palvelimien liityntäkytkimille saadaan 4GbE-porttikanava. STP:n tarve on eliminoitu IRF:n ansiosta, joten kaikki linkit tulevat käyttöön.

Kuviossa 39 on esitetty, miten kaksi eri virtuaalipalvelinalustaa liitetään verkkoon *dual homing* –menetelmää käyttäen.



Kuvio 39. Palvelinhuoneen topologia

Ratkaisussa pullonkaulaksi muodostuu tiedostopalvelimen kovalevyjen kirjoitusnopeus ja palvelimien verkkokortit. Tulevaisuudessa palvelinten vaihtaminen nopeampiin on kuitenkin verkkoratkaisujen kannalta nyt mahdollista, sillä runkokytkimien liitännät ovat 10GbE-portteja. Toistaiseksi ennen uusien palvelimien hankkimista 4GbE-porttikanavat vastaavat kasvaneisiin tietoliikenteen vaatimuksiin.

## 4.7 IRF-kytkinten implementointi tuotantoympäristöön

Opinnäytetyön käytännön osuudessa konfiguroidaan neljä 5820AF-24XG-SFP -kytkintä yhteen IRF-domainiin, josta muodostuu uuden verkkoympäristön 10GbE-linkeillä toteutettu jakelukerros eli runko. Rungon vieminen tuotantoon ei ehdi tapahtua opinnäytetyön aikataulun puitteissa, joten sen raportointi ei sisälly opinnäytetyöhön. Tässä luvussa kuitenkin esitellään kyseiseen prosessiin suunnitelma, jota toimeksiantaja voi soveltaa parhaan näkemyksensä mukaan.

Koska huoltotauot ovat Keskisellä harvassa, pyritään IRF-ympäristö viemään tuotantoon ennalta suunniteltuna päivänä keskeyttämättä verkon toimintaa pitkäksi aikaa. Tämä tarkoittaa sitä, että vanha ympäristö pyörii edelleen ja uusi IRF-runko tuodaan sen rinnalle, mikä vaatii hieman valmisteluja.

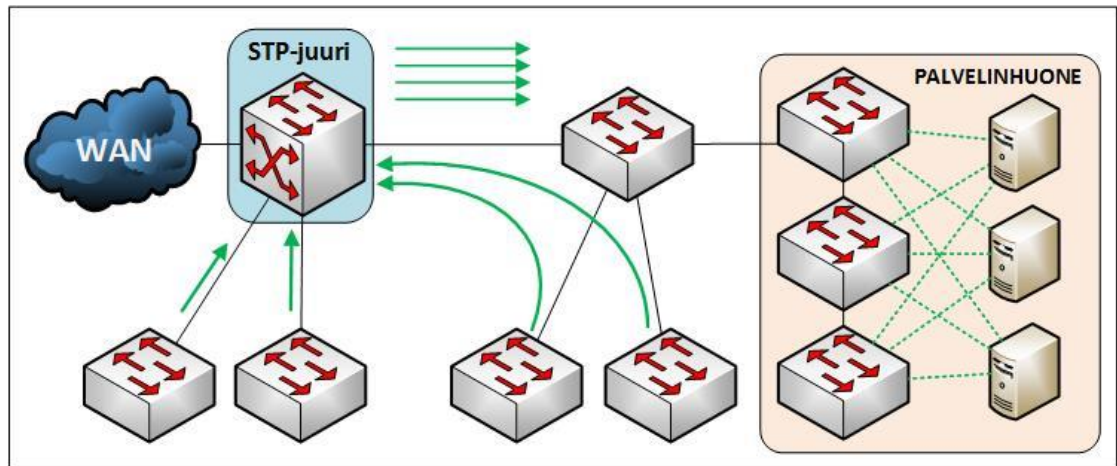
Lähtökohtana on, että uudet kuituvedot ja laitetilat ovat valmistuneet ennen käyttöönottoa. Lisäksi kaupan nykyisten kytkimien STP-asetukset täytyy yhdenmukaistaa, tarkoittaen MSTP:n ottamista käyttöön jokaisessa kytkimessä. Palvelinten liityntäkytkimiksi tuodaan kaksi uutta 2530-sarjan kytkintä, joten palvelinten kytkennät täytyy siirtää vanhoista kytkimistä uusiin. Myös Palvelinhuoneen lähistön työasemakytkimiksi otetaan 2530-kytkimiä, joten entiset liityntäkytkinten kytkennät tulee siirtää niihin. Näin saadaan Palvelinhuoneeseen täysin päivitetty kytkinympäristö, ja vanhat kytkimet voidaan siirtää muualle tai poistaa käytöstä.

IRF-kytkimen ensimmäinen "liitos" vanhaan ympäristöön tapahtuu Palvelinhuoneessa kyseisen tilan kytkimiin, joten sitä ennemmin kytkinverkon liikennevirta on syytä muokata kulkemaan kohti Palvelinhuonetta. Tämä tapahtuu vaihtamalla STP:n juureksi yksi Palvelinhuoneen kytkimistä. Näin siirretään liikennevirta jo valmiiksi kulkemaan kohti palvelimia.

Käyttöönoton vaiheet ovat seuraavat:

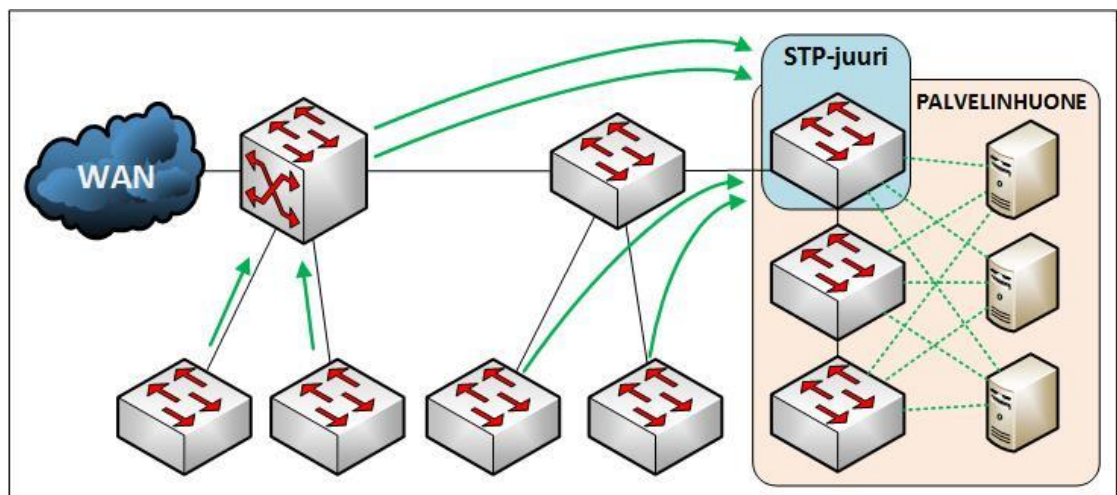
1. MSTP-juuren vaihtaminen nykyisestä L3-kytkimestä palvelinhuoneen ylimpään kytkimeen
2. IRF-rungon vieminen paikoilleen, toiminnassa nykyisen ympäristön rinnalla omana kokonaisuutenaan
3. IRF-rungon liittäminen STP-juureen porttikanavalla
4. IRF-kytkimen vaihtaminen STP:n juureksi muuttamalla sen *STP priority* -arvo pienimmäksi
5. Keskisen alkuperäisen STP-juurikytkimen (L3-kytkin) liittäminen IRF-runkoon. Tämän jälkeen voidaan IRF-runkoon liittää yksitellen kytkimiä ympäri taloa
6. Palvelinhuoneen liityntäkytkimet IRF-runkoon kiinni, ja palvelimet kiinni liityntäkytkimiin
7. IRF-kytkimen VLAN-rajapinnat (tiettyjen VLANien L3-yhdyskäytävät) voidaan nostaa ylös, kun DHCP-palvelin on määritetty jakamaan oikeat IP-tiedot VLANien työasemille

Nykyisessä ympäristössä STP-juurena toimii Laitehuone1:ssä sijaitseva L3-kytkin, ja liikenne kiertää palvelimille kuvion 40 mukaisesti.



Kuvio 40. STP:n nykyinen juurikytkin

Vaihtamalla juurikytkin väliaikaisesti esimerkiksi Palvelinhuoneen ylimpään kytkimeen, liikennevirta olisi myös nykyisessä topologiassa järkevämmän suunnattu. Kuviossa 41 esitellään tilanne STP-juuren vaihtamisen jälkeen, jolloin liikennevirta suuntautuu kohti palvelimia.



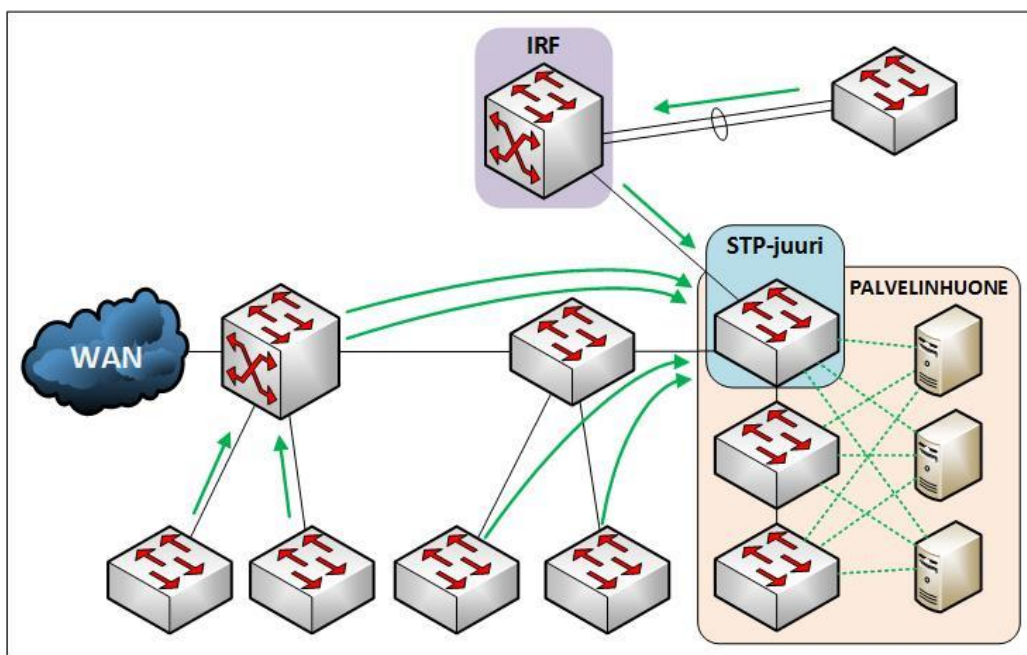
Kuvio 41. STP:n liikennevirta juuren vaihtamisen jälkeen

Looginen IRF-kytkin koostuu siis neljästä erillisestä 5820-kytkimestä. IRF-kytkin tuodaan nykyiseen ympäristöön ensin omana irrallisena kokonaisuutenaan, sillä ensin

IRF:n toiminta täytyy varmistaa laitteiden paikalleen viennin jälkeen. IRF-kytkimen *STP priority* konfiguroidaan pienemmäksi, kuin Palvelinhuoneen kytkimellä on.

Sen jälkeen IRF-kytkin liitetään STP:n juurikytkimeen, mieluiten 2GbE-porttikanavalla mikäli STP-juuren rajapinnat riittävät. Oikein konfiguroitujen *priority*-arvojen ansiosta tämä ei aiheuta topologian uudelleenlaskentaa, vaan IRF-kytkin on tässä vaiheessa kuin mikä tahansa muukin L2-kytkin Keskisen verkossa ja välittää liikenteen kohti STP:n juurikytkintä omasta root-portistaan.

Nyt IRF-kytkimeen voidaan jo liittää muita kytkimiä. Kuviossa 42 on esitetty tilanne, jossa IRF-kytkin on tuotu ympäristöön ja sen kautta kulkee toisenkin kytkimen liikenne 2GbE-porttikanavalla kohti MSTP-juurta.

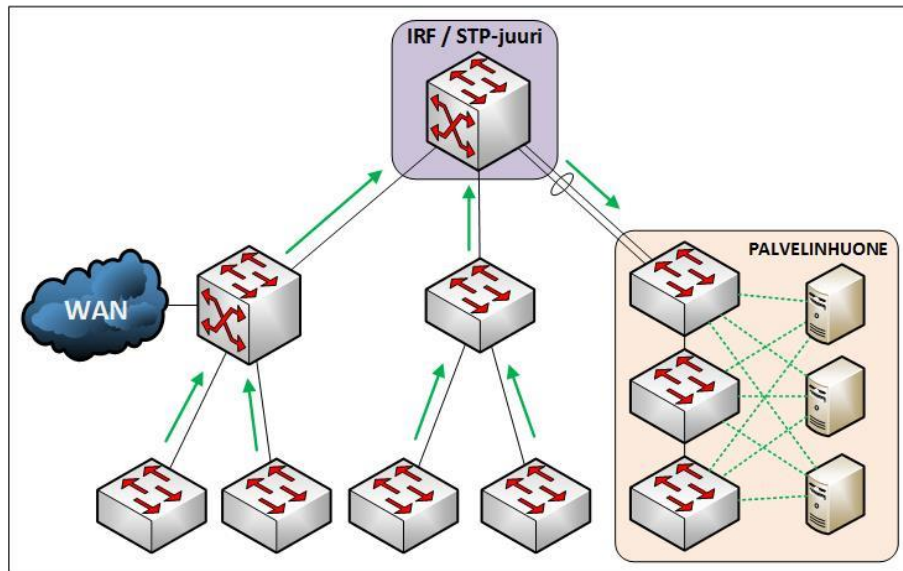


Kuvio 42. IRF-kytkimen lisääminen verkkoympäristöön

IRF-kytkin täytyy vielä vaihtaa STP-juureksi konfiguroimalla siihen pienempi *priority*-arvo, kuin nykyisellä juurikytkimellä on. Tämä aiheuttaa topologian uudelleenlaskennan verkkoon, ja saa liikenteen kohti palvelimia kiertämään IRF-kytkimen kautta. Tämän jälkeen voidaan liittää yrityksen muita kytkimiä IRF-runkoon, jolloin saadaan liikennevirrat suoraviivaisemmiksi. Kuviossa 43 on esitetty tilanne, jossa IRF-kytkin on vaihdettu STP-juureksi. Kuviossa myös alkuperäinen STP-juuri on liitetty IRF-runkoon,

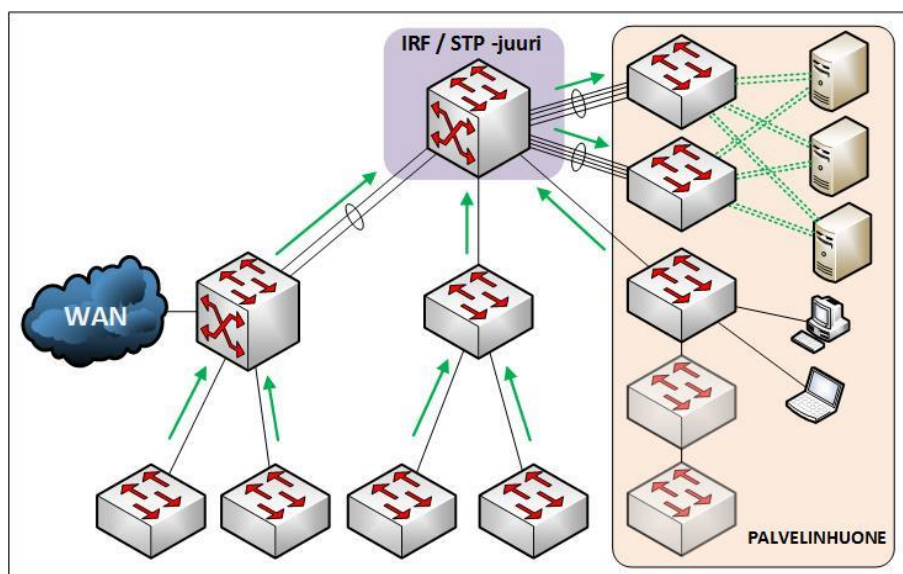


jolloin suuri osa yrityksen kytkimistä liikennöi palvelimille IRF-kytkimen kautta (vrt. kuvioon 5).



Kuvio 43. IRF-kytkimen vaihtaminen STP-juureksi

Nyt IRF-kytkimeen voidaan liittää uudet, valmiiksi konfiguroidut palvelinten 2530-liityntäkytkimet työn suunnitteluosiossa kuvatulla tavalla. Niihin voidaan ruveta siirtämään palvelinten verkkoliitäntöjä, ja näin saadaan aikaan suunniteltu palvelinten verkkoympäristö. Kuviossa 44 on esitetty tilanne, jossa palvelimet ovat siirretty uusiin liityntäkytkimiin, jotka ovat liitetty 4GbE-porttikanavilla IRF-runkoon.



Kuvio 44. Palvelimien siirto uusiin liityntäkytkimiin



Edellisessä kuviossa entiset Palvelinhuoneen kytkimet toimivat vielä työasemakytkiminä, ja toimeksiantaja voi parhaaksi katsomassaan järjestyksessä siirtää niiden toiminta uusiin 2530-kytkimiin.

Tässä vaiheessa verkko on hierarkkinen, joskin kytkimiä on ketjutettu toistensa perään ympäri yrityskompleksia. Kytkimiä voidaan ruveta irrottamaan alkuperäisestä STP-juuresta (kts. kuvio 5), ja liittämään niitä suoraan IRF-runkoon mikäli etäisyydet ja kuituvedot sen sallivat. Näin vähennetään alkuperäisen STP-juuren vikaantumisen aiheuttamaa *single point of failure* –vaaraa ja saadaan verkosta hierarkkinen mahdollisimman johdonmukaisesti. Jatkossa uudet kuituvedot voidaan suunnitella järkevästi kohti IRF-runkoa.

VLANien välinen reititys voidaan siirtää esimerkiksi osasto kerrallaan tarpeen mukaan IRF-runkoon, mikä vaatii valmiiksi suunnitellut IP-aliverkot ja uudet VLANit, sekä muutoksia myös DHCP-palvelimen toimintaan. IRF-kytkimen virtuaaliset VLAN-rajapinnat (työasemien L3-yhdyskäytävät) nostetaan ylös samalla, kun muut asetukset ovat tehty ja osastojen työasemat ovat siirretty uuteen VLANiin.

## 5 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS

### 5.1 Tavoite

Opinnäytetyön käytännön osuudessa oli määrä toteuttaa toimeksiantajan käyttöön tulevaa hierarkkista verkkorakennetta mallintava testiympäristö. Runkokerros koostuu suunnitteluosion mukaisesti neljästä 5820AF-24XG-SFP+ -kytkimestä, jotka muodostavat yhden IRF-domainin 10GbE-linkkiväleillä. Liityntäkerrokseen kuuluu toimeksiantajan käytössä olevia liityntäkytkimiä ja työasemia on neljä, jotka sijoitetaan kahteen eri VLANiin. VLANien välinen reititys toteutetaan IRF-kytkimessä.

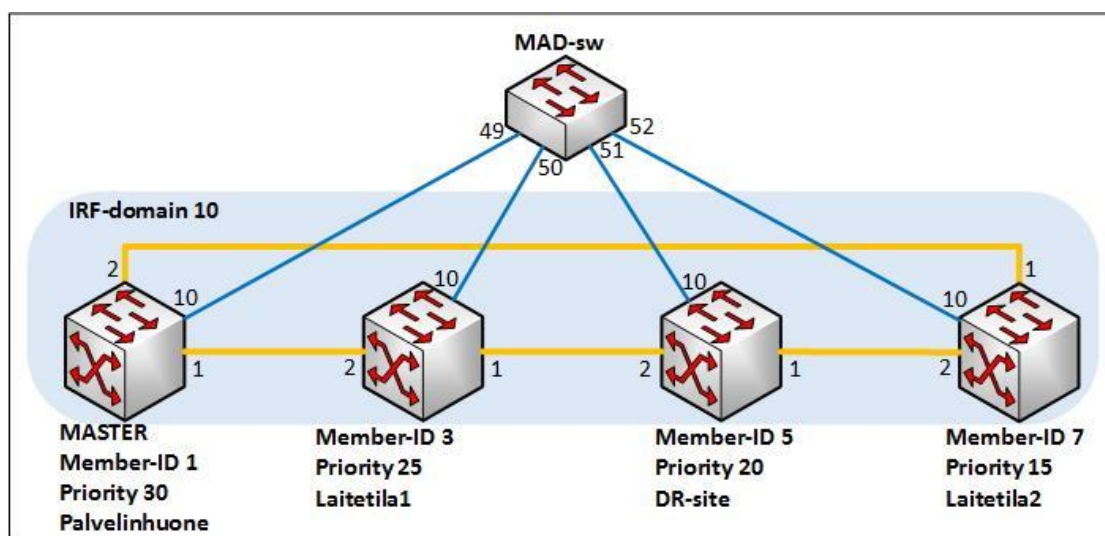
IRF-ympäristö (IRF-portit, kytkinten nimet, member-ID:t, prioriteetti-arvot, MAD) suunnitellaan siten, että se soveltuu toimeksiantajan tuotantoympäristöön parhaiten. Tuloksena on siis malli tulevasta runkokerroksesta. Käyttöönotto dokumentoidaan työhön siten, että IT-osaston työntekijät voivat käyttää opinnäytetyötä ohjeena IRF-ympäristön rakentamisessa.

Liityntäkerros toteutetaan LACP-porttikanavilla ja niin ikään dokumentoidaan, jotta opinnäytetyö toimii ohjeena myös liityntä- ja runkokerroksen yhdistämisessä. Opinnäytetyötä tehtäessä HP:n 2530-mallin kytkimien uusimpaan käyttöjärjestelmäversioon (YB.15.14.0002) oli lisätty LACP MAD -tuki, joten kyseinen kytkin konfiguroidaan MAD-välittäjäkytkimeksi.

### 5.2 Testiympäristö

IRF:n ja MAD:n toiminnan todentaminen vaatii muutoksia liityntäkerroksen kytkentöihin eri vaiheissa. Runkokerroksen ja MAD-välittäjäkytkimen välinen fyysinen topologia sen sijaan pysyy samana, mikä on esitetty kuviossa 45. Kuviosta voidaan niin ikään havaita suunnitellut priority-arvot ja kytkinten fyysiset sijainnit. Member1 ja Member3 tulevat olemaan kriittisimpiä laitteita yrityksen toiminnan (palvelimet, kas-

salinjastot, toimistot) kannalta, joten sekä Comware5- että tulevan Comware7-käyttöjärjestelmän LACP MAD-mallissa priority-arvot täytyy suunnitella sen mukaan. Näin ollen suurin priority-arvo ja pienin member-ID ovat kriittisimmällä Member1-kytkimellä. Kyseiset arvot mahdollistavat myös uuden runkokytkimen lisäämisen domainiin siten, että se sijoitetaan member-ID:n ja priority-arvon mukaan mihin tahansa "väliin". Tämä lisää joustavuutta suunnitteluun, kun tulevaisuuden muutoksissa varaudutaan vikatilanteisiin.



Kuvio 45. Testiympäristön IRF-domainin fyysinen topologia

Koska IRF-linkit tulevat tässä vaiheessa sisältämään vain yhden 10GbE-linkin, ovat fyysiset IRF-portit lisätty saman porttinumeron loogisiin IRF-portteihin topologian selkeyttämiseksi. Esimerkiksi looginen IRF-portti 1/2 sisältää fyysisen IRF-portin 1/0/2, looginen IRF-portti 3/1 sisältää fyysisen IRF-portin 3/0/1 ja niin edelleen. Näin ollen kuviossa 45 näkyvät IRF-portit tarkoittavat samalla sekä fyysisiä että loogisia IRF-portteja.

Työssä käytettävät VLANit ja niille luodut IP-osoiteavaruudet ovat listattu taulukossa 7 (tuotantoympäristön IP-osoitteita ei ole käytetty).

Taulukko 6. Testiympäristön VLANit ja IP-osoiteavaruudet

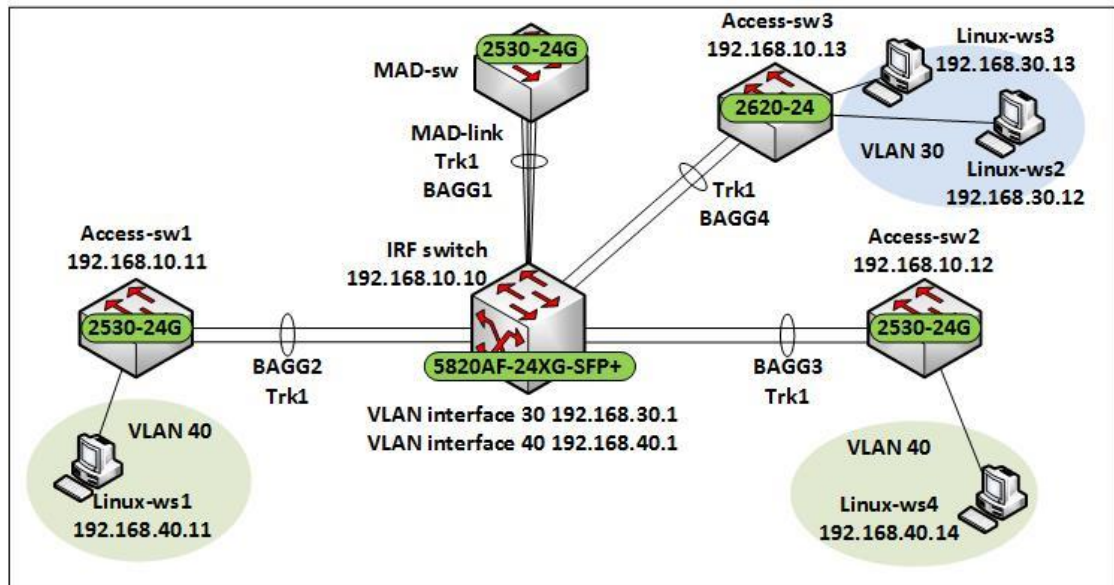
VLAN	ID	Subnet
Hallinta	10	192.168.10.0/24
MAD	20	
Data	30	192.168.30.0/24
Server	40	192.168.40.0/24

Testiympäristön laitekohtaiset IP-osoitteet ovat listattu taulukossa 8. LACP MAD:lle tarkoitetussa VLANissa ei käytetä IP-tietoja, sillä sen toiminta tapahtuu L2-tasolla.

Taulukko 7. Testiympäristön IP-osoitteet

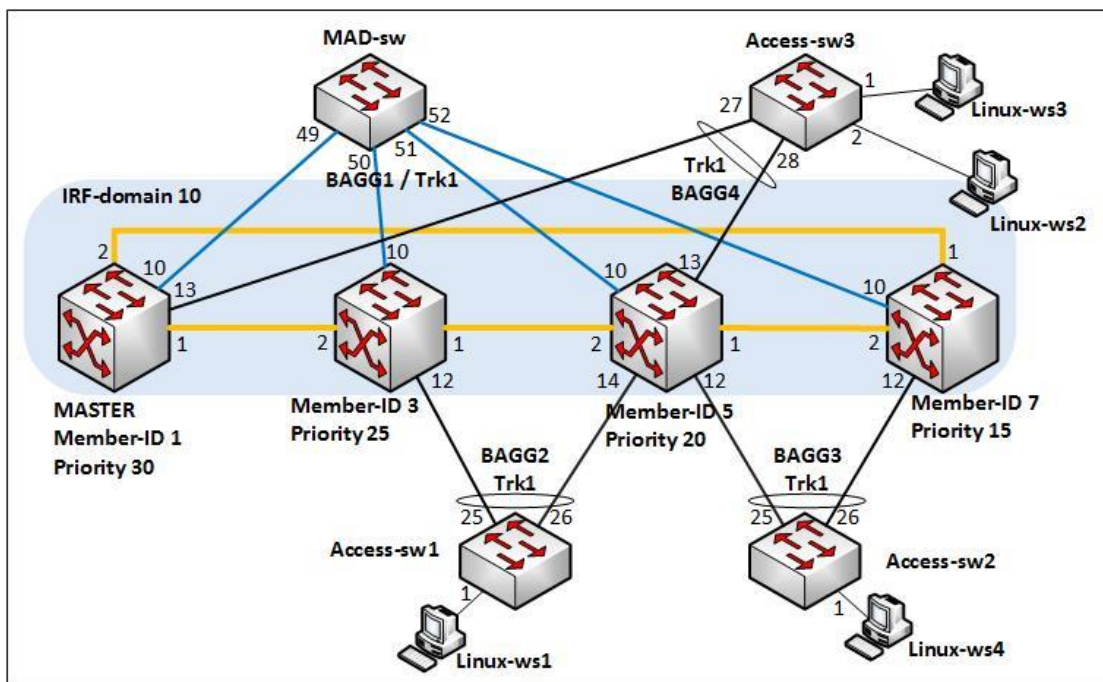
Device	VLAN ID	IP address
IRF switch	10	192.168.10.10
	20	
	30	192.168.30.1
	40	192.168.40.1
Access-sw1	10	192.168.10.11
Access-sw2	10	192.168.10.11
Access-sw3	10	192.168.10.13
MAD-sw	20	
Linux-ws1	40	192.168.40.11
Linux-ws2	30	192.168.30.12
Linux-ws3	30	192.168.30.13
Linux-ws4	40	192.168.40.14

Runko- ja liityntäkerroksen porttikanavat ja trunk-asetukset konfiguroidaan ensimmäisen testivaiheen topologian mukaisesti. Kuviossa 46 on esitetty testiympäristön looginen topologia, josta ilmenee porttikanavat, VLANit, IP-osoitteet ja VLAN-rajapinnat. Kuviota voidaan verrata suunnitteluosion kuvioon 28, jossa esitellään toimeksiantajan käyttöön tuleva hierarkkinen verkkomalli.



Kuvio 46. Testiympäristön looginen topologia vaihe 1

Luvussa 5.5 luotavien porttikanavien fyysiset kytkennät suoritetaan liitteen 3 mukaisesti. Kytkennät ovat havainnollistettu myös kuviossa 47, jossa esitellään testiympäristön ensimmäisen vaiheen fyysinen topologia.



Kuvio 47. Testiympäristön fyysinen topologia vaihe 1

Kaikkien aktiivilaitteiden lopulliset (viimeisen testivaiheen mukaiset) konfiguraatiot ovat liitteissä 4-8. Niihin sisältyy ainoastaan testiympäristössä tarvittavat määrittelyt, eikä toimeksiantajan tuotantoympäristöön tarkoitettuja määrittelyksiä näin ollen havainnollisteta opinnäytetyössä.

### 5.3 Kuormanjako

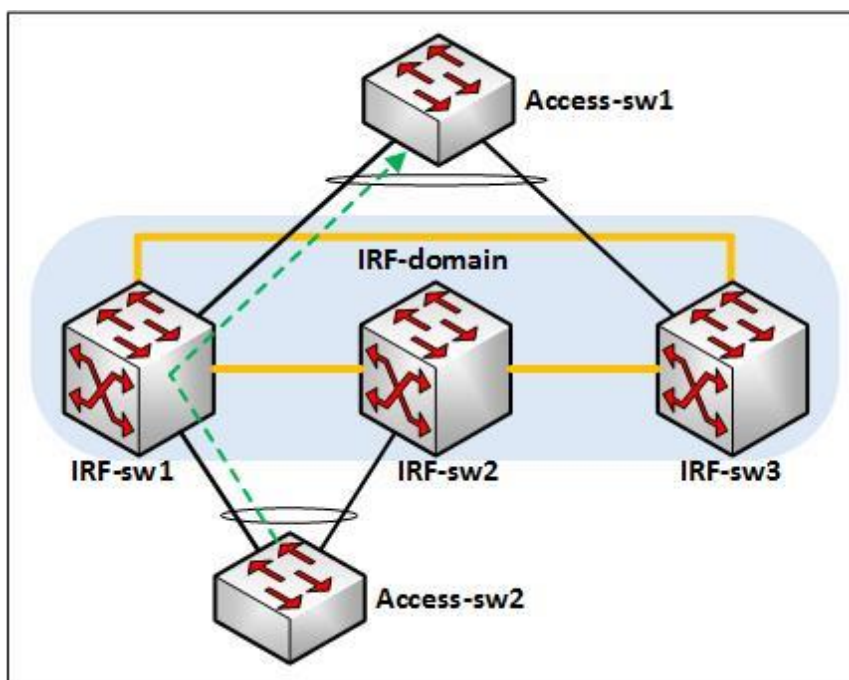
Porttikanavien fyysisten rajapintojen välisessä kuormanjaossa käytetään kytkinten oletusasetuksia.

Testiympäristön porttikanavat ovat hajautettuja, jolloin ne liitetään aina eri IRF-jäsenkytkimiin. Työssä käytetään kytkimissä oletuksena käytössä olevaa ”*local-first load sharing*” –asetusta, jonka avulla vähennetään IRF-jäsenkytkinten välisten linkkien kuormitusta.

Mikäli saapuvan liikennevirran kohdeosoite sijaitsee sellaisen hajautetun porttikanan takana, jonka yksikin fyysinen rajapinta löytyy samasta IRF-jäsenkytkimestä, liikenne välitetään ainoastaan sitä rajapintaa pitkin. Näin liikennettä ei kierrätetä tur-

haan IRF-linkkejä pitkin kyseisen porttikanavan toiseen fyysiseen rajapintaan. (HP 5820X & 5800 Switch Series Layer 2 – LAN Switching Configuration Guide 2012, 47.)

Tämä on havainnollistettu kuviossa 48, jossa Access-sw2:lta peräisin oleva liikenne kohti Access-sw1:stä kulkee ainoastaan porttikanavien ”paikallisia” fyysisiä rajapintoja pitkin. Tällöin liikenne kohteeseen ei kulje porttikanavan toista linkkiä IRF-sw2:n ja IRF-sw3:n kautta kohteeseen, ja kyseiset linkkivälit säästävät kapasiteettia muulle liikenteelle. Mikäli IRF-sw1 esimerkiksi käynnistyisi uudestaan, se aiheuttaisi pienen katkoksen liikenteeseen.

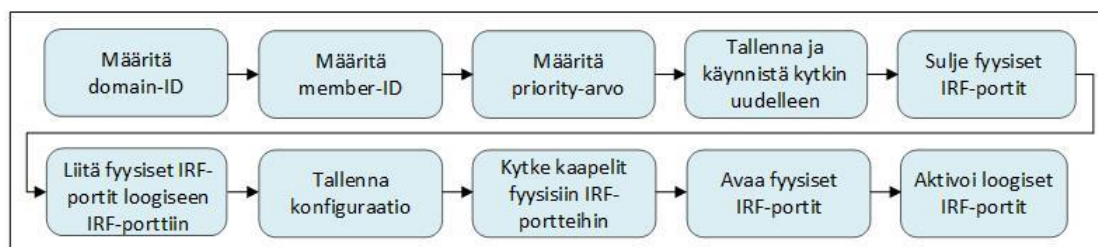


Kuvio 48. Testiympäristö *local-first load sharing*

Toinen vaihtoehto olisi jakaa kuorma tasaisesti hajautetun porttikanavan rajapinnoissa, mikä lisää IRF-linkkien käyttöastetta. Tämä aiheuttaa pakettihävikkiä rengastopologiassa, kun jokin porttikanavan fyysisen rajapinnan sisältävä IRF-jäsenkytkin käynnistyy uudelleen. Ominaisuus on nimeltään ”*link-aggregation traffic redirection*”. (HP 5820X & 5800 Switch Series Layer 2 – LAN Switching Configuration Guide 2012, 48.)

## 5.4 Työjärjestys

HP IRF Configuration Guide (2012, 13) suosittelee noudattamaan tiettyä järjestystä IRF-ympäristön pystyttämiseksi. Kaikki eri vaiheet eivät ole pakollisia IRF:n toimintaan saattamiseksi. Kuviossa 49 on esitetty HP:n suosittelemasta mallista sovellettu työjärjestys testiympäristön konfigurointiin. Etukäteen suunnittelemalla vältetään muun muassa ylimääräisiltä uudelleen käynnistämisiltä, kun priority-arvot ovat harvinaisia ja kytkimet liitetään IRF-domainiin oikeassa järjestyksessä.



Kuvio 49. IRF:n konfiguroinnin työjärjestys

Kuviossa 49 mainitut toimenpiteet suoritetaan erikseen jokaisella IRF:iin liitettävällä kytkimellä. Konfigurointi tapahtuu liittämällä RJ45-konsolikaapeli kytkimen etupaneelissa sijaitsevaan konsoliporttiin ja käyttämällä Putty-terminaalia.

Lukujen 5.5.1 – 5.5.7 vaiheet suoritetaan opinnäytetyöhön kirjatussa järjestyksessä yksi kytkin kerrallaan. Luvussa 5.5.8 suoritettava IRF:n muodostaminen on mahdollista vasta, kun edellä olevat toimenpiteet on tehty kaikkiin jäsenkytkimiin suunnitelman mukaisesti.

## 5.5 IRF

### 5.5.1 Sysname

Jäsenkytkimelle annetaan ensin oma nimi, josta käytetään termiä ”*sysname*”. Seuraavilla komennoilla siirrytään ensin *system-view* –tilaan ja annetaan kytkimelle nimeksi ”Member1”:



```
<HP> system-view
[HP] sysname Member1
[Member1]
```

### 5.5.2 Domain-ID

LACP MAD –tekniikkaa varten konfiguroidaan myös *IRF domain ID*. Extended LACPDU -viestit kuljettavat tiedon domainista IRF-jäsenille. Oletusarvoisesti domain ID on 0. LACP MAD vaatii saman ID:n käyttämistä yhden IRF-pinon jäsenten kesken. Domain ID:ksi konfiguroidaan ”10” seuraavasti:

```
<Member1> system-view
[Member1] irf domain 10
```

Domain ID -arvon ja muiden IRF:n voimassaolevien tietojen tarkistaminen onnistuu kaikissa tiloissa komennolla:

```
[Member1] display irf
```

### 5.5.3 Member-ID

Tämän jälkeen konfiguroidaan kytkimen member-ID, joka on oletuksena ”1”. Opin- näytetyössä Member1:n member-ID pysyy siis samana, mutta muiden kytkimien tapauksessa nämä arvot muutetaan kuvion 47 mukaisiksi. Esimerkiksi Member3-kytkimessä se onnistuu seuraavalla komennolla:

```
[Member1] irf member 1 renumber 3
```

Seuraavalla komennolla nähdään kytkimen sekä nykyinen että äsken konfiguroitu uusi member-ID:

```
[Member1] display irf configuration
```

Kuviossa 50 on esitetty äskeisen komennon tulos Member3-kytkimellä. ”NewID”-sarakkeen kohdalla on äsken määritetty arvo ”3”, joka tulee voimaan uudelleenkäynnistyksen jälkeen.

```
[Member3]disp irf conf
MemberID NewID      IRF-Port1      IRF-Port2
1          1         disable      disable
[Member3]irf member 1 renu
[Member3]irf member 1 renumber 3
Warning: Renumbering the switch number may result in configuration change or loss. Continue?[Y/N]y
[Member3]disp irf conf
MemberID NewID      IRF-Port1      IRF-Port2
1          3         disable      disable
[Member3]
```

Kuvio 50. IRF member-ID:n vaihtaminen

### 5.5.4 Priority-arvo

Keskisen ympäristössä kytkinten priority-arvot määritetään kuvion 47 mukaisesti.

Priority-oletusarvo on 1, ja uusi priority-arvo tulee käyttöön heti komennon suorittamisen jälkeen. Ennen IRF-linkkien aktivoimista kaikki kytkimet ovat vielä *standalone* –tilassa eli master-kytkimiä. Priority-arvot on mahdollista vaihtaa IRF-domainin toimiessa, mutta testauksen tässä vaiheessa tämä suoritetaan ennen fyysisiä kytkentöjä ja IRF-domainin muodostamista. Member1:n tapauksessa priority-arvon voi vaihtaa *system-view* –tilassa seuraavasti:

```
[Member1] irf member 1 priority 30
[Member1] save
```

Kuviossa 51 on esitetty virhetilanne, jossa Member-ID:n vaihtamisen jälkeen kytkintä ei ole vielä käynnistetty uudelleen, jolloin uusi Member-ID ei ole vielä käytössä. Priority-arvon vaihtaminen uudelle Member-ID:lle ei siis vielä onnistu. Tässä vaiheessa täytyy siis vielä käyttää vanhaa Member-ID:n arvoa, kun konfiguroidaan prioriteettia.

```
[Member3]disp irf conf
MemberID NewID      IRF-Port1      IRF-Port2
1          3         disable      disable
[Member3]irf member 3 priority 25
ERROR: The device is not in the current IRF.
```

Kuvio 51. Priority-arvon vaihtamisen virhetilanne

### 5.5.5 IRF-konfiguraatioiden tallentaminen ja reboot

Kun kytkimeen domain-ID, member-ID ja priority-arvo ovat määritetty, kytkin täytyy käynnistää uudelleen, jotta uusi Member-ID ja sen myötä porttien nimien muutokset tulisivat voimaan.

Tätä ennen täytyy tallentaa nykyiseen konfiguraatioon tehdyt muutokset, jotta käynnistyessä käytettävä *startup*-konfiguraatio olisi oikea. Ainoastaan edellä tehdyt IRF-määritykset säilyvät uudelleenkäynnistyksen jälkeen (esimerkiksi fyysisiin portteihin tehdyt määritykset häviävät). Tallentamisen jälkeen tulee palata *user-view* -tilaan, jossa uudelleenkäynnistys voidaan suorittaa. Toimenpiteet ovat seuraavanlaiset:

```
[Member1] save
The current configuration will be written to the device. Are you sure? [Y/N]:y
Please input the file name(*.cfg)[flash:/config.cfg]
(To leave the existing filename unchanged, press the enter key):
flash:/config.cfg exists, overwrite? [Y/N]:y
Validating file. Please wait....
Saved the current configuration to mainboard device successfully.
Configuration is saved to device successfully.
[Member1] return
<Member1> reboot
```

### 5.5.6 IRF-konfiguraatioiden tarkistaminen

Uudelleenkäynnistyksen jälkeen IRF-asetukset ovat säilyneet, ja fyysisten rajapintojen nimet ovat muuttuneet uuden member-ID:n mukaisiksi ja niihin mahdollisesti tehdyt muut konfiguraatiot ovat hävinneet.

Ennen fyysisten kytkentöjen suorittamista on hyvä tarkistaa IRF-määritykset. Edellä mainitulla *"display irf"*- ja *"display irf configuration"* -komennoilla saadaan jokaisella kytkimellä varmistettua IRF-konfiguraatioiden oikeellisuus. Huomaa, että tässä vaiheessa jokaisen kytkimen rooli on vielä *"master"*, ja loogisten IRF-porttien täytyy olla *"DIS"*- tai *"disable"*-tilassa. Kuviossa 52 on esitetty Member1:n IRF-tiedot.

```
[Member1]dis irf
Switch  Role    Priority CPU-Mac          Description
*+1     Master    30      cc3e-5f75-9895   Palvelinhuone
-----

* indicates the device is the master.
+ indicates the device through which the user logs in.

The Bridge MAC of the IRF is: cc3e-5f75-9894
Auto upgrade           : yes
Mac persistent         : 6 min
Domain ID              : 10
[Member1]dis irf conf
MemberID NewID      IRF-Port1      IRF-Port2
  1         1        disable        disable
```

Kuvio 52. Member1 tarkistus ennen IRF:n aktivointia

Kuviossa 53 on esitetty Member3:n IRF-tiedot.

```
[Member3]dis irf
Switch  Role    Priority CPU-Mac          Description
*+3     Master    25      cc3e-5f75-9f79   Laitetila1
-----

* indicates the device is the master.
+ indicates the device through which the user logs in.

The Bridge MAC of the IRF is: cc3e-5f75-9f78
Auto upgrade           : yes
Mac persistent         : 6 min
Domain ID              : 10
[Member3]dis irf conf
MemberID NewID      IRF-Port1      IRF-Port2
  3         3        disable        disable
```

Kuvio 53. Member3 tarkistus ennen IRF:n aktivointia

Kuviossa 54 on esitetty Member5:n IRF-tiedot.

```

<Member5>dis irf
Switch  Role    Priority  CPU-Mac          Description
*+5     Master    20       cc3e-5f78-277b   Laitetila2
-----

* indicates the device is the master.
+ indicates the device through which the user logs in.

The Bridge MAC of the IRF is: cc3e-5f78-277a
Auto upgrade           : yes
Mac persistent         : 6 min
Domain ID              : 10
<Member5>dis irf conf
MemberID NewID      IRF-Port1          IRF-Port2
  5         5        disable                disable

```

Kuvio 54. Member5 tarkistus ennen IRF:n aktivointia

Kuviossa 55 on esitetty Member7:n IRF-tiedot.

```

<Member7>dis irf
Switch  Role    Priority  CPU-Mac          Description
*+7     Master    15       cc3e-5f75-97d8   DR-site
-----

* indicates the device is the master.
+ indicates the device through which the user logs in.

The Bridge MAC of the IRF is: cc3e-5f75-97d7
Auto upgrade           : yes
Mac persistent         : 6 min
Domain ID              : 10
<Member7>dis irf conf
MemberID NewID      IRF-Port1          IRF-Port2
  7         7        disable                disable

```

Kuvio 55. Member7 tarkistus ennen IRF:n aktivointia

### 5.5.7 IRF-portit ja fyysiset kytkennät

Fyysiset kytkennät suoritetaan liitteen 3 sekä kuvion 47 mukaan. Ennen sitä täytyy kaikki loogisiin IRF-linkkeihin sisällytettävät fyysiset portit sulkea.

Siirrytään *system-view* –tilasta rajapintakohtaiseen tilaan ja suljetaan ne, minkä jälkeen siirrytään takaisin *system-view* –tilaan ja tarkistetaan rajapintojen tila *display*-komennolla. Esimerkiksi Member1:n rajapinnoissa 1/0/1 ja 1/0/2 nämä toimenpiteet suoritetaan seuraavasti:

```
[Member1] interface Ten-GigabitEthernet 1/0/1
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/1] shutdown
[Member1] quit
[Member1] interface Ten-GigabitEthernet 1/0/2
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/2] shutdown
[Member1] quit
[Member1] display interface brief
```

Kuviossa 56 on esitetty Member1:n näkymä suorittaessa edellisiä komentoja. Huomaa porttien tila: "ADM" tarkoittaa "administratively down", jolloin rajapinta ei nouse ylös, vaikka linkkiväliin kytkettäisiin kuitukaapeli.

```
[Member1]int ten 1/0/1
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/1]shut
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/1]qui
[Member1]int ten 1/0/2
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/2]shut
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/2]qui
[Member1]dis int bri
The brief information of interface(s) under route mode:
Link: ADM - administratively down; Stby - standby
Protocol: (s) - spoofing
Interface          Link Protocol Main IP      Description
M-GE0/0/0          DOWN DOWN    --
NULL0              UP   UP(s)     --
Vlan1              DOWN DOWN    --

The brief information of interface(s) under bridge mode:
Link: ADM - administratively down; Stby - standby
Speed or Duplex: (a)/A - auto; H - half; F - full
Type: A - access; T - trunk; H - hybrid
Interface          Link Speed  Duplex Type PVID Description
GE1/0/25           DOWN auto   A     A    1
GE1/0/26           DOWN auto   A     A    1
XGE1/0/1           ADM  auto   A     A    1
XGE1/0/2           ADM  auto   A     A    1
```

Kuvio 56. Member1 rajapintojen sulkeminen

Kun jäsenkytkinten fyysiset IRF-portit ovat suljettu, voidaan suorittaa fyysiset kytkennät OM3-kytkentäkuiduilla ja 10G SFP+ LC -kuituoptiikoilla.

Liittäessä kuituoptiikat portteihin, kytkin tunnistaa ne automaattisesti ja huomauttaa siitä CLI:ssä. Kuituoptiikoiden ominaisuuksia voi tarkastella muun muassa seuraavilla komennoilla (voi myös erikseen määritellä halutun rajapinnan):

```
[Member7] display transceiver diagnosis interface
[Member7] display transceiver interface
```

Kuviossa 57 näkyy Member7:n fyysisiin IRF-portteihin liitettyjen SFP+ -optiikoiden tiedot edellä mainituilla komennoilla.

```
[Member7]dis trans dia int Ten-GigabitEthernet 7/0/1
Ten-GigabitEthernet7/0/1 transceiver diagnostic information:
  Current diagnostic parameters:
    Temp. (°C) Voltage(V) Bias(mA) RX power(dBm) TX power(dBm)
    21          3.31      0.00      -33.61      -36.96
[Member7]dis trans int ten
[Member7]dis trans int Ten-GigabitEthernet 7/0/1
Ten-GigabitEthernet7/0/1 transceiver information:
  Transceiver Type      : 10G_BASE_SR_SFP
  Connector Type        : LC
  Wavelength(nm)       : 850
  Transfer Distance(m)  : 80(50um),20(62.5um),300(om3)
  Digital Diagnostic Monitoring : YES
  Vendor Name           : HP
```

Kuvio 57. Member7 portin 1 SFP-info

Fyysisten kytkentöjen jälkeen luodaan looginen IRF-portti siirtymällä *system-view* – tilasta kyseiseen IRF-porttiin, jonka joka ilmaistaan CLI:ssä ”*irf-port <member-id>/<port number>*”. IRF-portin tilaksi täytyy myös määrittää ”*enhanced*”, mikä mahdollistaa useamman kuin kahden jäsenkytkimen muodostaman IRF-domainin (HP 12500 Routing Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 17).

Member1:n tapauksessa fyysinen rajapinta XGE1/0/1 sisällytetään IRF-port1:en ja fyysinen rajapinta XGE1/0/2 IRF-port2:en *enhanced*-tilassa seuraavilla komennoilla:

```
[Member1] irf-port 1/1
[Member1-irf-port1/1] port group interface Ten-GigabitEthernet 1/0/1 mode
enhanced
[Member1] irf-port 1/2
[Member1-irf-port1/2] port group interface Ten-GigabitEthernet 1/0/2 mode
enhanced
[Member1] quit
```

Kuviossa 58 on näkymä Member1:llä suoritetusta IRF-portin konfiguroinnista.



```
[Member1]irf-port 1/1
[Member1-irf-port1/1]port group int ten 1/0/1 mode enhanced
Info: You are recommended to save the configuration after completing your IRF configuration; otherwise, it may be
lost after system reboot.
[Member1-irf-port1/1]qui
[Member1]irf-port 1/2
[Member1-irf-port1/2]port group int ten 1/0/2 mode enhanced
Info: You are recommended to save the configuration after completing your IRF configuration; otherwise, it may be
lost after system reboot.
[Member1-irf-port1/2]qui
```

### Kuvio 58. Member1 IRF-portin konfigurointi

Tämän jälkeen kyseisille fyysisille rajapinnoille tulisi suorittaa enää ainoastaan *shutdown*, *description*- ja *flow-interval* –komentoja (HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide 2012, 17).

Annetaan vielä fyysisille IRF-rajapinnoille kuvaukset ylläpidon selkeyttämiseksi. Muiden kuin master-kytkimen tapauksessa tämä vaihe tulisi tehdä vasta IRF:n muodostamisen jälkeen, sillä jäsenkytkinten rajapinnat muuttuvat IRF member-ID:n mukaisiksi. Komennot ovat Member1:n tapauksessa seuraavat:

```
[Member1] interface Ten-GigabitEthernet 1/0/1
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/1] description Link-to-Member3
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/1] quit
[Member1] interface Ten-GigabitEthernet 1/0/2
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/2] description Link-to-Member7
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/1] quit
```

”Display interface brief”-komennolla nähdään äsken annetut kuvaukset rajapinnoille.

Kuviossa 59 näkyy esimerkkinä Member1:n fyysisten IRF-porttien kuvaukset.

```
[Member1]dis int bri
The brief information of interface(s) under route mode:
Link: ADM - administratively down; Stby - standby
Protocol: (s) - spoofing
Interface          Link Protocol Main IP      Description
M-GE0/0/0          DOWN DOWN    --
NULL0              UP   UP(s)    --
Vlan1              DOWN DOWN    --

The brief information of interface(s) under bridge mode:
Link: ADM - administratively down; Stby - standby
Speed or Duplex: (a)/A - auto; H - half; F - full
Type: A - access; T - trunk; H - hybrid
Interface          Link Speed  Duplex Type PVID Description
GE1/0/25           DOWN auto   A     A    1
GE1/0/26           DOWN auto   A     A    1
XGE1/0/1           ADM    --      --    --    --    Link-to-Member3
XGE1/0/2           ADM    --      --    --    --    Link-to-Member7
```

### Kuvio 59. Member1 fyysisten IRF-porttien kuvaukset



Aiemmin luotujen loogisten IRF-porttien tiedot voidaan tarkistaa seuraavilla komennoilla:

```
[Member1] display irf configuration
[Member1] display irf topology
```

Kuviossa 60 on esitetty Member1:n näkymä edellisillä komennoilla. Huomaa, että IRF-portit ovat vielä pois päältä, joten porttien tila on ”DOWN” eikä naapurikytkimiä löydy.

```
[Member1]dis irf conf
MemberID NewID      IRF-Port1                IRF-Port2
  1         1      Ten-GigabitEthernet1/0/1      Ten-GigabitEthernet1/0/2
[Member1]dis irf topo

                        Topology Info
-----
Switch      IRF-Port1      IRF-Port2
Link        neighbor      Link        neighbor      Belong To
1           DOWN          --           DOWN          --           cc3e-5f75-9895
```

Kuvio 60. Member1 IRF-tiedot ennen IRF:n aktivointia

### 5.5.8 IRF-linkkien aktivoiminen

Tässä vaiheessa täytyy tallentaa konfiguraatiot, sillä kytkimet vaativat uudelleenkäynnistämisen IRF:n muodostamisen yhteydessä. IRF-linkkien aktivointi tehdään kytkin kerrallaan järjestyksessä Member1- Member3- Member5- Member7.

Kun kaikki fyysiset IRF-portit ovat sisällytetty loogisiin IRF-portteihin ja fyysiset kytkennät suoritettu, voidaan laittaa fyysiset IRF-portit takaisin päälle (looginen IRF-portti pysyy vielä suljettuna).

Esimerkiksi Member1:llä tämä onnistuu seuraavilla komennoilla:

```
[Member1] interface Ten-GigabitEthernet 1/0/1
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/1] undo shutdown
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/1] quit
[Member1] interface Ten-GigabitEthernet 1/0/2
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/2] undo shutdown
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/2] quit
```

Seuraavaksi täytyy vielä nostaa loogiset IRF-portit toimintaan, jolloin IRF voi muodostua. Toimenpide suoritetaan ensin Member1-kytkimellä, ja sen jälkeen tehdään samat toimenpiteet Member3:lla. Kun niiden välinen IRF-linkki aktivoituu, niiden välillä tapahtuu IRF merge –tilanne, ja Member3 käynnistyy uudestaan hävittyään master-vaalit pienemmän priority-arvonsa takia.

Kun Member1 ja Member3 ovat samassa IRF-domainissa, voidaan siirtyä Member5:en ja aktivoida loogiset IRF-portit. Tämän jälkeen Member5 käynnistyy uudestaan liittyen kahden edellisen kytkimen muodostamaan IRF-domainiin. Prosessi on samanlainen Member7:n kohdalla. IRF-portin aktivoiminen onnistuu komennolla:

*[Member1] irf-port-configuration active*

IRF:n onnistuneen muodostamisen jälkeen IRF-tiedot saadaan esiin *display*-komennoilla. Kuten kuviossa 61 näkyy, konsolikaapeli oli kiinni Member7:n konsoliportissa, vaikka CLI:n mukaan komennot suoritetaankin master-kytkimessä eli Member1:ssä.

```
[Member1]dis irf
Switch  Role    Priority  CPU-Mac          Description
*1      Master    30       cc3e-5f75-9895    Palvelinhuone
3        Slave    25       cc3e-5f75-9f79    -----
5        Slave    20       cc3e-5f78-277b    -----
+7        Slave    15       cc3e-5f75-97d8    -----
-----

* indicates the device is the master.
+ indicates the device through which the user logs in.

The Bridge MAC of the IRF is: cc3e-5f75-9894
Auto upgrade           : yes
Mac persistent         : 6 min
Domain ID              : 10
```

Kuvio 61. Aktiivinen IRF, jäsen- ja domain-tiedot

Kuviossa 62 nähdään IRF:n topologiatiedot, jotka kertovat kaikkien IRF-linkkien olevan ylhäällä. Näin ollen rengastopologia on onnistunut.

```
[Member1]dis irf topology
```

Topology Info					
-----					
Switch	IRF-Port1		IRF-Port2		Belong To
	Link	neighbor	Link	neighbor	
1	UP	3	UP	7	cc3e-5f75-9895
3	UP	5	UP	1	cc3e-5f75-9895
5	UP	7	UP	3	cc3e-5f75-9895
7	UP	1	UP	5	cc3e-5f75-9895

Kuvio 62. Aktiivinen IRF, topologiatiedot

Kuviossa 63 esitetään IRF-konfiguraation tiedot. Kuten kuviosta nähdään, member-ID –arvoja ei ole konfiguroitu vaihtuvaksi ja fyysiset IRF-portit ovat sidottu loogisiin IRF-portteihin suunnitellusti.

```
[Member1]dis irf conf
```

MemberID	NewID	IRF-Port1	IRF-Port2
1	1	Ten-GigabitEthernet1/0/1	Ten-GigabitEthernet1/0/2
3	3	Ten-GigabitEthernet3/0/1	Ten-GigabitEthernet3/0/2
5	5	Ten-GigabitEthernet5/0/1	Ten-GigabitEthernet5/0/2
7	7	Ten-GigabitEthernet7/0/1	Ten-GigabitEthernet7/0/2

Kuvio 63. Aktiivinen IRF, portti- ja konfiguraatiodiedot

Riippumatta siitä, missä kytkimessä konsolikaapeli on kiinni, voidaan seuraavalla komennolla siirtyä myös IRF:n jäsenkytkimen komentoriville suorittamaan rajoitettu määrä ylläpitotoimenpiteitä (esimerkiksi debug) master-kytkimen sijaan:

```
[Member1] irf switch-to <member-id>
```

### 5.5.9 Jäsenkytkinten description-kentät

Tässä vaiheessa kaikki neljä jäsenkytkintä ovat muodostaneet IRF-domainin, ja loogisen IRF-kytkimen hallinta tapahtuu minkä tahansa jäsenkytkimen konsoliportin kautta.

Ylläpidollisista syistä on hyvä antaa jokaiselle jäsenkytkimelle oma kuvaus eli ”description”, joka kertoo esimerkiksi sijainnin. Opinnäytetyössä käytetään kuvauksena sijainteja, jotka ovat esitetty kuviossa 29. Mikäli aiemmin oli kytkinkohtaisesti määritetty kuvaus kytkimille, ne hävisivät jäsenkytkimiltä IRF:n muodostuessa (sillä ne hävisivät uuden konfiguraatiodiedostonsa master-kytkimeltä). Master-kytkimen kuvaus

jää siis voimaan, mutta muiden jäsenkytkinten kuvaukset täytyy erikseen lisätä kuvion 45 mukaisesti. Tämä tapahtuu seuraavilla komennoilla:

```
[Member1] irf member 3 description Laitetila1
[Member1] irf member 5 description DR-site
[Member1] irf member 7 description Laitetila2
```

Kuviossa 64 on esitetty, kuinka tämän jälkeen ”*display irf*”-komennolla nähdään annetut kuvaukset.

```
[Member1] irf member 5 description DR-site
[Member1] irf member 7 description Laitetila2
[Member1] dis irf
```

Switch	Role	Priority	CPU-Mac	Description
*+1	Master	30	cc3e-5f75-9895	Palvelinhuone
3	Slave	25	cc3e-5f75-9f79	Laitetila1
5	Slave	20	cc3e-5f78-277b	DR-site
7	Slave	15	cc3e-5f75-97d8	Laitetila2

-----

Kuvio 64. Jäsenkytkinten kuvaukset

## 5.6 VLAN-asetukset

### 5.6.1 IRF-kytkin

Testiympäristössä luodaan taulukoiden 7 ja 8 mukaiset VLANit ja VLAN-rajapinnat.

Luvun kuvankaappauksissa liityntäkytkimiin luodut Data- ja Server-VLANit poikkeavat kuvion 46 mallista, sillä työasemien sijoittaminen muuttui kuvankaappausten jälkeen.

Oletuksena kytkimessä on ainoastaan default-VLAN 1. Ensimmäisenä täytyy siis luoda vaaditut VLANit kytkimeen. Tämä onnistuu *system-view* –tilassa syöttämällä määrittämällä VLANin ID. Sen jälkeen nimetään VLAN käyttötarkoituksen mukaan, ja annetaan vielä erillinen kuvaus hallinnan helpottamiseksi (oletuksena kuvaus on muotoa ”*VLAN <ID>*”). Testiympäristön VLANien luomiseen komennot ovat seuraavat:

```
[Member1] vlan 10
[Member1-vlan10] name Hallinta
[Member1-vlan10] description MGMT-VLAN
```

```

[Member1-vlan10] quit
[Member1] vlan 20
[Member1-vlan20] name MAD
[Member1-vlan20] description MAD-VLAN
[Member1-vlan20] quit
[Member1] vlan 30
[Member1-vlan30] name Data
[Member1-vlan30] description WS-VLAN
[Member1-vlan30] quit
[Member1] vlan 40
[Member1-vlan40] name Server
[Member1-vlan40] description SRV-VLAN
[Member1-vlan40] quit

```

Koska IRF-kytkin toimii testiympäristön Data- ja Server-VLANien L3-yhdyskäytävänä, täytyy niille konfiguroida virtuaaliset L3-rajapinnat. Myös Hallinta-VLAN tarvitsee kytkinkohtaisen IP-osoitteen hallintayhteyksiä varten.

Ensin luodaan VLAN-rajapinta käyttäen siihen kuuluvaa VLANID-arvoa, joka määritettiin aiemmin. VLAN-rajapinnassa annetaan sille tarkoitettu IP-osoite ja aliverkkomaski. Halutessaan voi vielä antaa kuvauksen hallinnan selkeyttämiseksi, oletuksena käytetään rajapinnan nimeä. Rajapinta nousee ylös oletuksena ja pysyy ylhäällä niin kauan, kuin siinä on yksikin portti aktiivisena. Jos virtuaalisen rajapinnan sulkee *shutdown*-komennolla, se pysyy alhaalla "ADM"-tilassa, vaikka siinä olisi aktiivisia portteja. Testiympäristössä käytettävien virtuaalisten VLAN-rajapintojen kohdalla edellä mainitut toimenpiteet suoritetaan seuraavilla komennoilla:

```

[Member1] interface Vlan-interface 10
[Member1-Vlan-interface10] ip address 192.168.10.10 255.255.255.0
[Member1-Vlan-interface10] description Hallinta-VLAN
[Member1-Vlan-interface10] undo shutdown
Interface Vlan-interface10 is not shut down
[Member1-Vlan-interface10] quit
[Member1] interface Vlan-interface 30
[Member1-Vlan-interface30] ip address 192.168.30.1 24
[Member1-Vlan-interface30] description DATA-VLAN
[Member1-Vlan-interface30] quit
[Member1] interface Vlan-interface 40
[Member1-Vlan-interface40] ip address 192.168.40.1 24
[Member1-Vlan-interface40] description SRV-VLAN
[Member1-Vlan-interface40] quit

```

Konfiguraatioiden tallentamisen jälkeen tarkistetaan, että äskeiset toimenpiteet ovat suoritettu oikein. Seuraavilla komennoilla voidaan nähdä tietoa VLANeista ja VLAN-rajapinnoista:

```
[Member1] display vlan
[Member1] display vlan <vlan-id / all>
[Member1] display interface vlan-interface brief
[Member1] display interface vlan-interface <interface-id / all>
```

Kuvioissa 65 on esitetty IRF-kytkimeen luotujen VLANien määrä ja VLAN-ID:t.

```
[Member1]dis vlan
Total 5 VLAN exist(s).
The following VLANs exist:
1(default), 10, 20, 30, 40,
```

Kuvio 65. Luodut VLANit

Kuviossa 66 on esitetty IRF-kytkimeen luodut virtuaaliset VLAN-rajapinnat IP-osoitteineen ja kuvauksineen.

```
[Member1]dis int Vlan-interface bri
The brief information of interface(s) under route mode:
Link: ADM - administratively down; Stby - standby
Protocol: (s) - spoofing
```

Interface	Link	Protocol	Main IP	Description
Vlan1	DOWN	DOWN	--	
Vlan10	DOWN	DOWN	192.168.10.10	Hallinta-VLAN
Vlan30	DOWN	DOWN	192.168.30.1	DATA-VLAN
Vlan40	DOWN	DOWN	192.168.40.1	SRV-VLAN

Kuvio 66. Luodut VLAN-rajapinnat

Kuviossa 67 tarkastellaan yksityiskohtaisesti Data-VLANia 30 ja sen virtuaalista VLAN-rajapintaa.

```
[Member1]dis vlan 30
VLAN ID: 30
VLAN Type: static
Route Interface: configured
IP Address: 192.168.30.1
Subnet Mask: 255.255.255.0
Description: WS-VLAN
Name: Data
Tagged   Ports: none
Untagged Ports: none

[Member1]dis int vlan-i 10
Vlan-interface10 current state: DOWN
Line protocol current state: DOWN
Description: Hallinta-VLAN
The Maximum Transmit Unit is 1500
Internet Address is 192.168.10.10/24 Primary
IP Packet Frame Type: PKTFMT_ETHNT_2, Hardware Address: cc3e-5f75-98a3
IPv6 Packet Frame Type: PKTFMT_ETHNT_2, Hardware Address: cc3e-5f75-98a3
Last clearing of counters: Never
  Last 300 seconds input rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
  Last 300 seconds output rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
    0 packets input, 0 bytes, 0 drops
    0 packets output, 0 bytes, 0 drops
```

Kuvio 67. VLAN 30 ja VLAN-rajapinnan 30 tiedot

Kuten edellisistä kuvioista on nähtävissä, tässä vaiheessa virtuaaliset VLAN-rajapinnat ovat vielä *DOWN*-tilassa, sillä niihin ei ole sisällytetty aktiivisia portteja.

Lisäksi rajapintojen IP-asetukset voi tarkistaa myös seuraavilla komennoilla:

```
[Member1] display ip interface brief
[Member1] display ip interface (<rajapinta>)
```

Kuviossa 68 on esitetty IRF-kytkimen tuloste ensin mainitulla komennolla.

```
[Member1]dis ip int bri
*down: administratively down
(s): spoofing
```

Interface	Physical	Protocol	IP Address	Description
M-GigabitEthernet0/0/0	down	down	unassigned	M-Gigabit...
Vlan-interface1	down	down	unassigned	Vlan-inte...
Vlan-interface10	down	down	192.168.10.10	Hallinta-...
Vlan-interface30	down	down	192.168.30.1	DATA-VLAN
Vlan-interface40	down	down	192.168.40.1	SRV-VLAN

Kuvio 68. IRF-kytkin IP-tiedot

## 5.6.2 Liityntäkytkimet

Liityntäkytkimillä ainoastaan Hallinta-VLANille annetaan L3-tiedot hallintayhteyksiä varten. Access-sw1:llä Hallinta-VLANin luominen onnistuu seuraavilla komennoilla:



```
Access-sw1(config)# vlan 10
Access-sw1(vlan-10)# name Hallinta
Access-sw1(vlan-10)# ip address 192.168.10.11 255.255.255.0
Access-sw1(vlan-10)# exit
```

Muut VLANit luodaan samoin, mutta ilman L3-tietoja.

VLANien tietoja voidaan 2530-mallissa tarkastella yleisesti tai VLAN-kohtaisesti aiempaan mainituilla Comware-käyttöjärjestelmän *display*-komennoilla, tai seuraavilla HP:n Procurve-sarjasta tutuilla *show*-komennoilla:

```
Access-sw1# show vlans
Access-sw1# show vlans 10
```

Kuviossa 69 on esitetty Access-sw1:n tulosteet kyseisillä komennoilla VLANien luomisen jälkeen.

```
Access-sw1# sh vlans

Status and Counters - VLAN Information

Maximum VLANs to support : 256
Primary VLAN : Hallinta
Management VLAN : Hallinta

VLAN ID Name | Status Voice Jumbo
-----+-----+-----+-----
1   DEFAULT_VLAN | Port-based No No
10  Hallinta      | Port-based No No
30  Data          | Port-based No No

Access-sw1# sh vlan 10

Status and Counters - VLAN Information - VLAN 10

VLAN ID : 10
Name : Hallinta
Status : Port-based
Voice : No
Jumbo : No

Port Information Mode   Unknown VLAN Status
-----+-----+-----+-----
```

Kuvio 69. Access-sw1:n VLANit

Lisäksi kytkimen L3-asetukset (Hallinta-VLAN) voidaan tarkastaa komennolla:

```
Access-sw1# show ip
```

Kuviossa 70 on esitetty Access-sw1:n tuloste kyseisellä komennolla:



```

Access-sw1# sh ip

Internet (IP) Service

Default Gateway :
Default TTL     : 64
Arp Age        : 20
Domain Suffix   :
DNS server      :

VLAN            | IP Config | IP Address | Subnet Mask
-----+-----
DEFAULT_VLAN    | DHCP/Bootp
Hallinta        | Manual    | 192.168.10.11 | 255.255.255.0
Data            | Disabled

```

Kuvio 70. Access-sw1 L3-tiedot

## 5.7 LACP-porttikanava

### 5.7.1 IRF-pinon LACP-porttikanava kohti 2530-liityntäkytkimiä

LACP menee automaattisesti päälle porttikanaviin, jotka määritetään *“dynamic”*-tilaan. Näin ollen LACP hallinnoi porttikanavan fyysisiä rajapintoja. Testiympäristössä LACP-porttikanavat käyttävät oletus-prioriteettia.

Luodaan esimerkiksi MAD-linkissä käytettävä porttikanava, annetaan sille kuvaus ja suljetaan se seuraavilla komennoilla:

```

[Member1] interface Bridge-Aggregation 1
[Member1-Bridge-Aggregation1] link-aggregation mode dynamic
[Member1-Bridge-Aggregation1] description MAD-link
[Member1-Bridge-Aggregation1] shutdown
[Member1-Bridge-Aggregation1] quit

```

Tämän jälkeen voidaan tarkistaa porttikanavan *“BAGG1”* tiedot *“display interface brief”*-komennolla, jonka näkymän osa on esitetty kuviossa 71. Huomaa porttikanavan tila *“ADM”*, joka kertoo porttikanavan pysyvän alhaalla, vaikka siihen lisäisi aktiivisia fyysisiä portteja.

```

The brief information of interface(s) under bridge mode:
Link: ADM - administratively down; Stby - standby
Speed or Duplex: (a)/A - auto; H - half; F - full
Type: A - access; T - trunk; H - hybrid
Interface      Link Speed  Duplex Type PVID Description
BAGG1          ADM  auto   A      A    1    MAD-link

```

Kuvio 71. IRF-kytkin BAGG1-tiedot

Seuraavaksi liitetään porttikanavaan fyysiset rajapinnat kuvion 47 ja liitteen 3 mukaisesti. Siirrytään ensin haluttuun rajapintaan ja sen jälkeen liitetään se äsken luotuun porttikanavaan BAGG1 "MAD-link". Mikäli fyysinen portti on ollut suljettuna, voidaan se myös avata tässä vaiheessa vaikka kaapeli olisikin jo kytketty, sillä itse looginen porttikanava on suljettu aiemmin.

```

[Member1] interface Ten-GigabitEthernet1/0/10
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/10] port link-aggregation group 1
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/10] undo shutdown
[Member1-Ten-GigabitEthernet1/0/10] quit

```

Kun kaikki oikeat fyysiset rajapinnat on lisätty porttikanavaan, voi seuraavia *display*-komentoja käyttää yksittäisten tai kaikkien porttikanavien tarkasteluun:

```

[Member1] display link-aggregation summary
[Member1] display link-aggregation verbose
[Member1] display link-aggregation verbose Bridge-Aggregation 1

```

Kuviossa 72 on esitetty kyseisen tiedot BAGG1-porttikanavasta. Fyysisten porttien tila on vielä "*unselected*", sillä linkit eivät ole aktiivisia.

```
[Member1]dis link-aggregation verbose Bridge-Aggregation 1
```

Loadsharing Type: Shar -- Loadsharing, NonS -- Non-Loadsharing  
Port Status: S -- Selected, U -- Unselected  
Flags: A -- LACP\_Activity, B -- LACP\_Timeout, C -- Aggregation,  
D -- Synchronization, E -- Collecting, F -- Distributing,  
G -- Defaulted, H -- Expired

Aggregation Interface: Bridge-Aggregation1  
Aggregation Mode: Dynamic  
Loadsharing Type: Shar  
System ID: 0x8000, cc3e-5f75-9894

Local:

Port	Status	Priority	Oper-Key	Flag
XGE1/0/10	U	32768	1	{ACG}
XGE3/0/10	U	32768	1	{ACG}
XGE7/0/10	U	32768	1	{ACG}
XGE5/0/10	U	32768	1	{ACG}

Remote:

Actor	Partner	Priority	Oper-Key	SystemID	Flag
XGE1/0/10	0	32768	0	0x8000, 0000-0000-0000	{EF}
XGE3/0/10	0	32768	0	0x8000, 0000-0000-0000	{EF}
XGE7/0/10	0	32768	0	0x8000, 0000-0000-0000	{EF}
XGE5/0/10	0	32768	0	0x8000, 0000-0000-0000	{EF}

Kuvio 72. IRF-kytkin BAGG1:n fyysiset portit

Lisäksi komennolla *"display current"* nähdään kytkimen konfiguraatiotiedosto, jossa rajapintakohtaisista asetuksista voidaan havaita esimerkiksi rajapinnan XGE1/0/10 olevan ylhäällä ja kuuluvan juuri luotuun porttikanavaan. Tämä on esitetty kuviossa 73.

```
#
interface Ten-GigabitEthernet1/0/10
 port link-mode bridge
 description Link-to-MAD
 port link-aggregation group 1
#
```

Kuvio 73. IRF-kytkin XGE1/0/10 –asetukset

Tämän jälkeen luodaan loput testiympäristössä tarvittavat porttikanavat, ja liitetään fyysiset portit niihin kuvion 47 mukaisesti. Lisäksi voidaan antaa myös fyysisille portteille kuvaukset, että konfiguraatiotiedoston lukeminen olisi selkeämpää. Vaikka fyysiset portit ovat päällä, on porttikanava *shutdown*-tilassa, jolloin voidaan suorittaa fyysiset kytkennät.

### 5.7.2 2530-liityntäkytkimen LACP-porttikanava kohti IRF-pinoa

2530-mallissa LACP on oletusarvoisesti pois päältä, joten ensin protokolla tulee sallia halutuissa porteissa. Tässä luvussa on käytetty esimerkkinä kytkintä "Access-sw1", ja kuten kuviosta 47 nähdään, kyseisen kytkimen tapauksessa tulee kuituportit 25 ja 26 sisällyttää samaan porttikanavaan. Parhaiden käytäntöjen mukaan fyysiset rajapinnat tulee sulkea ennen muita toimenpiteitä, mikäli IRF-kytkimellä ei ole ensin suljettu loogista BAGG-rajapintaa. LACP konfiguroidaan "active"-tilaan, jolloin protokolla yrittää muodostaa porttikanavaa riippumatta vastapään portin tilasta. Seuraavilla komennolla suljetaan rajapinnat 25 ja 26, sekä asetetaan LACP päälle niihin:

```
Access-sw1(config)# int 25-26
Access-sw1(eth-25-26)# disable
Access-sw1(eth-25-26)# lacp active
Access-sw1(eth-25-26)# exit
```

Seuraavalla komennolla voidaan tarkistaa, missä rajapinnoissa LACP on päällä. Tässä vaiheessa itse loogista porttikanavarajapintaa ei vielä näy.

```
Access-sw1(config)# show lacp
```

Tässä vaiheessa seuraavalla komennolla tarkistetaan, että porttikanavaan liitettävien fyysisten rajapintojen nopeus- ja duplex-asetukset ovat yhteneviä sekä keskenään että vastapäisen aktiivilaitteen kanssa:

```
Access-sw1# show interfaces brief
```

Seuraavaksi sisällytetään fyysiset portit loogiseen porttikanavaan. HP:n kytkimissä porttikanaville on valmiit nimet "Trk1, Trk2, Trk3, ..." joita tulee käyttää. Rajapinnat 25 ja 26 liitetään samaan LACP-porttikanavaan "Trk1" configure-modessa seuraavalla komennolla:

```
Access-sw1(config)# trunk 25-26 trk1 lacp
```

Luodun porttikanavan tiedot ja siihen kuuluvat rajapinnat voi tarkistaa edellä mainitun "show lacp"-komennon lisäksi globaalissa tilassa tai configure-modessa seuraavilla komennolla:

```
Access-sw1 (config)#show trunk
Access-sw1 (config)#show trunk <rajapinta/porttikanavan nimi>
```

Fyysisten kytkentöjen jälkeen fyysiset rajapinnat rajapinnat nostetaan ylös seuraavalla komennolla:

```
Access-sw1(config)# int 25-26
Access-sw1(eth-25-26)# enable
```

## 5.8 Trunk- ja access-portit

### 5.8.1 IRF-kytkin

Niin testi- kuin tuotantoympäristössä liityntäkytkinten uplink-porttikanavat on määritettävä trunk-porteiksi, sillä niiden tulee kuljettaa useampaa kuin yhtä VLANia. Tämä täytyy tehdä sekä runko- että liityntäkerroksen kytkimissä. Default-VLANina toimii oletusarvoisesti VLAN1, jossa ei kulje dataliikennettä.

Testiympäristön topologiassa Data- ja Server-VLANit sijoittuvat kuvion 46 mukaisesti. Esimerkiksi IRF-kytkimen porttikanava BAGG2 on linkki kohti Access-sw1:stä, joten kyseisen porttikanavan tulee kuljettaa VLANit 1, 10 ja 30. BAGG2:n konfigurointi trunk-portiksi tapahtuu siirtymällä porttikanavaan, vaihtamalla portin tyyppi trunkiksi ja sallimalla halutut VLANit ("all" sallii kaikki VLANit). Viimeiseksi määritetään trunkin Default-VLAN, joka myös oletuksena on VLAN 1.

```
[Member1] interface bridge-aggregation 2
[Member1-Bridge-Aggregation1] port link-type trunk
[Member1-Bridge-Aggregation1] port trunk permit vlan 1 10 30
[Member1-Bridge-Aggregation1] port trunk pvid vlan 1
```

Kuviossa 74 on esitetty äskeinen konfiguraatio IRF-kytkimellä. Huomionarvoista on se, kuinka komennot siirtyvät kahden eri jäsenkytkimen fyysiseen porttiin.

```
[Member1]int Bridge-Aggregation 2
[Member1-Bridge-Aggregation2]port link-type trunk
[Member1-Bridge-Aggregation2]port trunk permit vlan 1 10 30
Please wait... Done.
Configuring Ten-GigabitEthernet1/0/12... Done.
Configuring Ten-GigabitEthernet3/0/12... Done.
[Member1-Bridge-Aggregation2]port trunk pvid vlan 1
[Member1-Bridge-Aggregation2]qui
```

Kuvio 74. IRF-kytkimen BAGG2:n konfigurointi trunk-portiksi

Kuviossa 75 on esitetty, kuinka trunk-määritykset näkyvät porttikanavien kohdalla IRF-kytkimen konfiguraatitiedostossa komennolla *"display current"*.

```
#
interface Bridge-Aggregation1
description MAD-link
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 20
link-aggregation mode dynamic
shutdown
#
interface Bridge-Aggregation2
description Link-to-Access-sw1
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 10 30
link-aggregation mode dynamic
shutdown
#
interface Bridge-Aggregation3
description Link-to-Access-sw2
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 10 40
link-aggregation mode dynamic
shutdown
#
interface Bridge-Aggregation4
description Link-to-Access-sw3
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 10 30
link-aggregation mode dynamic
shutdown
#
```

Kuvio 75. IRF-kytkin trunk-määritykset

Trunk-porttikanavaan voidaan sallia uusia VLANeja yksitellen jälkeenpäin, ja niitä voidaan poistaa yksitellen tai kaikki kaikki kerralla *"undo"*-option avulla.

## 5.8.2 Liityntäkytkin

### Trunk-portti

Aiemmin Access-sw1:en luotu porttikanava Trk1 on konfiguroitava kuljettamaan samoja VLANeja kuin IRF-kytkimen BAGG2-rajapinta. VLANeihin täytyy erikseen lisätä 802.1q –standardin VLAN-tag, jolloin eri VLANit erottuvat toisistaan trunk-portissa.

Tämä tapahtuu *configure*-tilassa komennolla:

```
Access-sw1(config)# vlan 1 tagged Trk1
Access-sw1(config)# vlan 10 tagged Trk1
Access-sw1(config)# vlan 40 tagged Trk1
```

Porttikanavaan kuuluvat VLANit voi tarkistaa seuraavalla komennolla:

```
Access-sw1(config)# show vlan port trk1
```

Kuviossa 76 on esitetty kyseinen komento suoritettuna Access-sw1:llä.

```
Access-sw1# sh vlan port trk1
```

Status and Counters - VLAN Information - for ports Trk1

VLAN ID	Name	Status	Voice	Jumbo
1	DEFAULT_VLAN	Port-based	No	No
10	Hallinta	Port-based	No	No
40	Server	Port-based	No	No

Kuvio 76. Access-sw1 Trk1:n VLAN-tiedot

### Access-portti

Työasemat kytketään liityntäkytkimiin kuvion 47 ja liitteen 3 mukaisesti. Kyseiset portit täytyy määrittää *access*-tilaan, jolloin niissä kulkee ainoastaan yksi VLAN. Esimerkiksi VLAN 40 konfiguroidaan Access-sw1:n portti 1:en seuraavalla komennolla:

```
Access-sw1(config)# vlan 40 untagged port 1
```

Porttikohtaiset VLAN-asetukset voidaan tarkistaa joko edellämainitulla *“show vlan”* – komennolla tai suoraan kytkimen konfiguraatietiedostosta komennolla *“show confi-*

guration”. Kuviossa 77 on esitetty Access-sw1:n konfiguraatitiedoston VLAN-asetukset.

```
vlan 1
  name "DEFAULT_VLAN"
  no untagged 1
  untagged 2-24,27-28
  tagged Trk1
  ip address dhcp-bootp
  exit
vlan 10
  name "Hallinta"
  tagged Trk1
  ip address 192.168.10.11 255.255.255.0
  exit
vlan 40
  name "Server"
  untagged 1
  tagged Trk1
  no ip address
  exit
```

Kuvio 77. Access-sw1:n VLANit konfiguraatitiedostossa

## 5.9 Porttikanavien aktivointi

### 5.9.1 IRF-kytkin

Liityntäkytkinten ja IRF-kytkimen väliset fyysiset uplink-portit ovat päällä, mutta IRF-kytkimen loogiset BAGG-rajapinnat ovat *shutdown*-tilassa. Näin ollen fyysiset kytkennät voidaan suorittaa ilman jokaisen fyysisen rajapinnan sulkemista erikseen.

Kun loputkin fyysiset kytkennät ovat suoritettu kuvion 47 ja liitteen 3 mukaisesti, voidaan siirtyä IRF-kytkimessä haluttuun BAGG-rajapintaan ja nostaa se ylös. Esimerkiksi Access-sw1:lle päin oleva BAGG2 nostetaan toimintaan seuraavilla komennoilla:

```
[Member1] interface bridge-aggregation 2
[Member1-Bridge-Aggregation2] undo shutdown
```



Kuviossa 78 on esitetty komennolla *"display interface brief"* saatu näkymä toiminnassa olevista porttikanavista. Kuten kuviosta nähdään, kahden fyysisen portin muodostaman porttikanavan tiedonsiirtonopeus on 2G. Viimeinen sarake on porttikanavalle annettu kuvaus.

BAGG2	UP	2G(a)	F(a)	T	1	Link-to-Access-sw1
BAGG3	UP	2G(a)	F(a)	T	1	Link-to-Access-sw2
BAGG4	UP	2G(a)	F(a)	T	1	Link-to-Access-sw3

Kuvio 78. IRF-kytkin BAGG1, BAGG2 ja BAGG3

Kuviossa 79 on esitetty IRF-kytkimessä ”*display link-aggregation verbose*” – komennolla saadut tiedot porttikanavien tiloista ja fyysisistä porteista.

```

Aggregation Interface: Bridge-Aggregation1
Aggregation Mode: Dynamic
Loadsharing Type: Shar
System ID: 0x8000, cc3e-5f75-9894
Local:
  Port                Status  Priority Oper-Key  Flag
-----
  XGE1/0/10           S       32768    1         {ACDEF}
  XGE3/0/10           S       32768    1         {ACDEF}
  XGE5/0/10           S       32768    1         {ACDEF}
  XGE7/0/10           S       32768    1         {ACDEF}
Remote:
  Actor              Partner Priority Oper-Key  SystemID              Flag
-----
  XGE1/0/10          49      0       54      0x1cc0, 7446-a0e4-1cc0 {ACDEF}
  XGE3/0/10          50      0       54      0x1cc0, 7446-a0e4-1cc0 {ACDEF}
  XGE5/0/10          51      0       54      0x1cc0, 7446-a0e4-1cc0 {ACDEF}
  XGE7/0/10          52      0       54      0x1cc0, 7446-a0e4-1cc0 {ACDEF}

Aggregation Interface: Bridge-Aggregation2
Aggregation Mode: Dynamic
Loadsharing Type: Shar
System ID: 0x8000, cc3e-5f75-9894
Local:
  Port                Status  Priority Oper-Key  Flag
-----
  XGE3/0/12           S       32768    2         {ACDEF}
  XGE5/0/14           S       32768    2         {ACDEF}
Remote:
  Actor              Partner Priority Oper-Key  SystemID              Flag
-----
  XGE3/0/12          26      0       54      0xece0, a45d-36a8-ece0 {ACDEF}
  XGE5/0/14          25      0       54      0xece0, a45d-36a8-ece0 {ACDEF}

Aggregation Interface: Bridge-Aggregation3
Aggregation Mode: Dynamic
Loadsharing Type: Shar
System ID: 0x8000, cc3e-5f75-9894
Local:
  Port                Status  Priority Oper-Key  Flag
-----
  XGE5/0/12           S       32768    6         {ACDEF}
  XGE7/0/12           S       32768    6         {ACDEF}
Remote:
  Actor              Partner Priority Oper-Key  SystemID              Flag
-----
  XGE5/0/12          25      0       54      0x87c0, a45d-36a8-87c0 {ACDEF}
  XGE7/0/12          26      0       54      0x87c0, a45d-36a8-87c0 {ACDEF}

Aggregation Interface: Bridge-Aggregation4
Aggregation Mode: Dynamic
Loadsharing Type: Shar
System ID: 0x8000, cc3e-5f75-9894
Local:
  Port                Status  Priority Oper-Key  Flag
-----
  XGE1/0/13           S       32768    3         {ACDEF}
  XGE5/0/13           S       32768    3         {ACDEF}
Remote:
  Actor              Partner Priority Oper-Key  SystemID              Flag
-----
  XGE1/0/13          27      0       54      0x4f60, 082e-5fe9-4f60 {ACDEF}
  XGE5/0/13          28      0       54      0x4f60, 082e-5fe9-4f60 {ACDEF}

```

Kuvio 79. IRF-kytkin link-aggregation summary

## 5.9.2 Liityntäkytkin

Liityntäkytkimillä LACP-porttikanavien tiedot nähdään seuraavilla komennoilla:

```
Access-sw1(config)# show lacp
Access-sw1(config)# show lacp peer
```

Kuvioissa 80 on esitetty Access-sw1:n LACP-tiedot. Kuvioista voidaan havaita, että LACP:n tila on ”active” porteissa 25 ja 26 (Trk1), kuten konfiguroidessa määritettiin, ja naapurikytkimen porttikanavan *priority*-arvo on oletusarvoisesti 32768.

```
Access-sw1(config)# sh lacp
```

LACP							
Port	LACP Enabled	Trunk Group	Port Status	Partner	LACP Status	Admin Key	Oper Key
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
25	Active	Trk1	Up	Yes	Success	0	54
26	Active	Trk1	Up	Yes	Success	0	54

Kuvio 80. Access-sw1:n LACP-tiedot

Kuviossa 81 näkyy, että naapurikytkimen System ID on loogisen IRF-kytkimen Bridge MAC –osoitteesta (kuvio 61) johdettu.

```
Access-sw1(config)# sh lacp peer
```

```
LACP Peer Information.
```

```
System ID: a45d36-a8ece0
```

Local Port	Local Trunk	System ID	Port	Port Priority	Oper Key	LACP Mode	Tx Timer
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
25	Trk1	cc3e5f-759894	69	32768	2	Active	Slow
26	Trk1	cc3e5f-759894	41	32768	2	Active	Slow

Kuvio 81. Access-sw1:n LACP-naapurin tiedot

## 5.10 LACP MAD

### 5.10.1 IRF-kytkin

Luvussa 5.7.1 MAD-linkkejä varten luotu BAGG1-porttikanava määritetään MAD-rajapinnaksi sallimalla MAD-viestit. BAGG1 on jo aikaisemmin suljettu sekä määritetty ”dynamic” –rajapinnaksi, joten LACP on automaattisesti käytössä ja LACP MAD valikoituu käytettäväksi vaihtoehdoksi BFD MAD:n ja ARP MAD:n sijaan. MAD-viestit sallitaan porttikanavassa seuraavalla komennolla:

```
[Member1]interface Bridge-Aggregation 1
[Member1-Bridge-Aggregation1] mad enable
```

### 5.10.2 2530-välittäjäkytkin

Opinnäytetyön testiympäristössä tulee kuvion 47 mukaisesti konfiguroida välittäjäkytkimen neljä kuituporttia (49-52) välittämään extended LACP –viestit IRF-jäsenkytkinten välillä. Tämä aloitetaan sulkemalla fyysiset rajapinnat, laittamalla LACP päälle niihin ja sisällyttämällä portit LACP-porttikanavaan ”Trk1” seuraavilla komennoilla:

```
MAD-sw(config)# int 49-52
MAD-sw(eth-49-52)# disable
MAD-sw(eth-49-52)# lacp active
MAD-sw(eth-49-52)# exit
MAD-sw(config)# trunk 49-52 trk1 lacp
```

Seuraavaksi siirrytään configure-modessa loogiseen rajapintaan Trk1 ja laitetaan siihen päälle ”mad-passthrough”-ominaisuus, joka sallii extended LACP –viestien välityksen porttikanavassa. Lopuksi tallennetaan muutokset. Komennot ovat seuraavat:

```
MAD-sw(config)# int trk1
MAD-sw(eth-Trk1)# lacp mad-passthrough enable
MAD-sw(eth-Trk1)# exit
MAD-sw(config)# write memory
```

MAD-toimintaan osallistuvat rajapinnat ja MAD-viestien laskurit nähdään seuraavilla komennoilla:

```
MAD-sw(config)# show lacp mad-passthrough
MAD-sw(config)# show lacp mad-passthrough counters
```

Kuviossa 82 on esitetty äskeisistä komennoista ensimmäinen suoritettuna MAD-välittäjäkytkimellä.

```
MAD-sw(config)# sh lacp mad

Trunk-Group  LACP-MAD-PASSTHROUGH
-----
Trk1         Enabled
```

Kuvio 82. LACP-MAD-passthrough status

Porttikanava täytyy vielä lisätä MAD-toiminnalle omistettuun VLANiin "MAD", jonka VLAN ID on 20. Tämän jälkeen porttikanavan fyysiset portit voidaan avata. Nämä vaiheet onnistuvat seuraavilla komennoilla:

```
MAD-sw(config)# vlan 20 tagged trk1
```

Tarkistetaan porttikanavan Trk1 VLANit komennolla:

```
MAD-sw(config)# show vlans ports trk1
```

Kuviossa 83 on esitetty edellisen komennon näkymä MAD-sw:n komentorivillä.

```
MAD-sw(config)# sh vlan port trk1

Status and Counters - VLAN Information - for ports Trk1

VLAN ID Name | Status      Voice Jumbo
-----+-----
20      MAD      | Port-based No   No
```

Kuvio 83. MAD-sw Trk1:n VLANit

### 5.10.3 MAD-aktivointi

Tässä vaiheessa suoritetaan fyysiset kytkennät. Sen jälkeen avataan IRF-kytkimen MAD-kytkintä kohti oleva looginen rajapinta BAGG1 seuraavasti:

```
[Member1] interface bridge-aggregation 1
[Member1-Bridge-Aggregation1] undo shutdown
```

Tämän jälkeen fyysiset rajapinnat ja BAGG1 nousevat ylös, ja esimerkiksi LLDP luo naapuruussuhteet. Tämän jälkeen MAD:n tilan voi tarkistaa IRF-kytkimessä seuraavilla komennoilla:

```
[Member1] display mad
[Member1] display mad verbose
```

Kuviossa 84 on esitetty tilanne, jossa IRF-kytkimen rajapinta BAGG1 nostetaan ylös ja sen jälkeen tarkistetaan LACP MAD:n toiminta.

```
[Member1]int br 1
[Member1-Bridge-Aggregation1]undo shut
[Member1-Bridge-Aggregation1]
%Apr 26 15:32:35:607 2000 Member1 IFNET/3/LINK_UPDOWN: Ten-GigabitEthernet1/0/10 link status is UP.
%Apr 26 15:32:35:608 2000 Member1 LAGG/5/LAGG_ACTIVE: Member port Ten-GigabitEthernet1/0/10 of aggregation group BA
GG1 becomes ACTIVE.
%Apr 26 15:32:35:619 2000 Member1 IFNET/3/LINK_UPDOWN: Ten-GigabitEthernet3/0/10 link status is UP.
%Apr 26 15:32:35:646 2000 Member1 IFNET/3/LINK_UPDOWN: Bridge-Aggregation1 link status is UP.
%Apr 26 15:32:35:682 2000 Member1 IFNET/3/LINK_UPDOWN: Ten-GigabitEthernet7/0/10 link status is UP.
%Apr 26 15:32:35:731 2000 Member1 IFNET/3/LINK_UPDOWN: Ten-GigabitEthernet5/0/10 link status is UP.
%Apr 26 15:32:36:527 2000 Member1 LAGG/5/LAGG_ACTIVE: Member port Ten-GigabitEthernet3/0/10 of aggregation group BA
GG1 becomes ACTIVE.
%Apr 26 15:32:36:528 2000 Member1 LAGG/5/LAGG_ACTIVE: Member port Ten-GigabitEthernet5/0/10 of aggregation group BA
GG1 becomes ACTIVE.
%Apr 26 15:32:36:528 2000 Member1 LAGG/5/LAGG_ACTIVE: Member port Ten-GigabitEthernet7/0/10 of aggregation group BA
GG1 becomes ACTIVE.
%Apr 26 15:32:37:158 2000 Member1 LLDP/6/LLDP_CREATE_NEIGHBOUR: New neighbor created on Port Ten-GigabitEthernet1/0
/10 (IfIndex 11796489), Chassis ID is 7446-a0e4-1cc0, Port ID is 49.
%Apr 26 15:32:37:158 2000 Member1 LLDP/6/LLDP_CREATE_NEIGHBOUR: -Slot=3; New neighbor created on Port Ten-GigabitEt
hernet3/0/10 (IfIndex 28573705), Chassis ID is 7446-a0e4-1cc0, Port ID is 50.
%Apr 26 15:32:37:159 2000 Member1 LLDP/6/LLDP_CREATE_NEIGHBOUR: -Slot=7; New neighbor created on Port Ten-GigabitEt
hernet7/0/10 (IfIndex 62128137), Chassis ID is 7446-a0e4-1cc0, Port ID is 52.
%Apr 26 15:32:37:160 2000 Member1 LLDP/6/LLDP_CREATE_NEIGHBOUR: -Slot=5; New neighbor created on Port Ten-GigabitEt
hernet5/0/10 (IfIndex 45350921), Chassis ID is 7446-a0e4-1cc0, Port ID is 51.
[Member1-Bridge-Aggregation1]qui
[Member1]dis mad
MAD ARP disabled.
MAD LACP enabled.
MAD BFD disabled.
```

Kuvio 84. IRF-kytkin BAGG1:n ja LACP MAD:n käyttöönotto

Mikäli vähintään yhteen porttikanavan rajapintaan on kytketty kaapeli, ja IRF-kytkimen vastaavat portit ovat konfiguroitu oikein, pitäisi MAD-viesteille tarkoitettun porttikanavan olla kunnossa. Sen toiminta voidaan tarkistaa IRF-kytkimessä edellä mainituilla *display*-komennoilla. Kuviossa 85 on esitetty yksityiskohtaiset tiedot MAD:n toiminnasta. Kuviosta selviää, että IRF-linkkien portteja ei ikinä suljeta ja BAGG1 on määritetty välittämään LACP MAD –viestejä.



```

<Member1>dis mad ver
Current MAD status: Detect
Excluded ports(configurable):
Excluded ports(can not be configured):
  Ten-GigabitEthernet1/0/1
  Ten-GigabitEthernet1/0/2
  Ten-GigabitEthernet3/0/1
  Ten-GigabitEthernet3/0/2
  Ten-GigabitEthernet5/0/1
  Ten-GigabitEthernet5/0/2
  Ten-GigabitEthernet7/0/1
  Ten-GigabitEthernet7/0/2
MAD ARP disabled.
MAD enabled aggregation port:
  Bridge-Aggregation1
MAD BFD disabled.

```

Kuvio 85. IRF-kytkimen MAD-status

Kuviossa 86 nähdään MAD-porttikanavan koostuvan neljästä 1GbE-portista, kun tarkastellaan komennon *"display interface brief"* tuottamia tietoja rajapinnoista.

```

The brief information of interface(s) under bridge mode:
Link: ADM - administratively down; Stby - standby
Speed or Duplex: (a)/A - auto; H - half; F - full
Type: A - access; T - trunk; H - hybrid

```

Interface	Link	Speed	Duplex	Type	PVID	Description
BAGG1	UP	4G(a)	F(a)	A	1	MAD-link
BAGG2	UP	2G(a)	F(a)	T	1	Link-to-Access-sw1
BAGG3	UP	2G(a)	F(a)	T	1	Link-to-Access-sw2
BAGG4	UP	2G(a)	F(a)	T	1	Link-to-Access-sw3

Kuvio 86. Testiympäristön kaikki porttikanavat toiminnassa

## 5.11 LLDP-naapuruudet

Kun viimeinenkin testiympäristön porttikanava on toiminnassa, voidaan myös LLDP:n avulla nähdä naapurikytkimet. IRF-kytkimen LLDP-naapuruudet nähdään seuraavalla komennolla:

```
[Member1] display lldp neighbor-information list
```

Kuviossa 87 on esitetty komento suoritettuna IRF-kytkimellä. Näkyvissä on linkkivälin sekä paikalliset että LLDP-naapurin rajapinnat.

```
[Member1]dis lld nei list
```

System Name	Local Interface	Chassis ID	Port ID
MAD-sw	XGE1/0/10	7446-a0e4-1cc0	49
Access-sw3	XGE1/0/13	082e-5fe9-4f60	27
MAD-sw	XGE3/0/10	7446-a0e4-1cc0	50
Access-sw1	XGE3/0/12	a45d-36a8-ece0	26
MAD-sw	XGE5/0/10	7446-a0e4-1cc0	51
Access-sw2	XGE5/0/12	a45d-36a8-87c0	25
Access-sw3	XGE5/0/13	082e-5fe9-4f60	28
Access-sw1	XGE5/0/14	a45d-36a8-ece0	25
MAD-sw	XGE7/0/10	7446-a0e4-1cc0	52
Access-sw2	XGE7/0/12	a45d-36a8-87c0	26

Kuvio 87. IRF-kytkimen LLDP-naapurit

Liityntäkytkimen tapauksessa LLDP:n muodostamat naapuruudet voidaan nähdä seuraavalla komennolla:

```
Access-sw1(config)# show lldp info remote-device
```

Kuviossa 88 on esitetty Access-sw1:n LLDP-naapurit kyseisellä komennolla. Naapurin *ChassisID* on johdettu loogisen IRF-kytkimen Bridge MAC -osoitteesta.

```
Access-sw1(config)# sh lld in re
```

#### LLDP Remote Devices Information

LocalPort	ChassisId	PortId	PortDescr	SysName
25	cc 3e 5f 75 98 94	Ten...	Link-t...	Member1
26	cc 3e 5f 75 98 94	Ten...	Link-t...	Member1

Kuvio 88. Access-sw1:n LLDP-naapurit



## 6 TULOKSET

### 6.1 Tavoite

Luvussa todennetaan runkokerroksen toiminta vikatilanteissa. Tarkoituksena on tehdä testiympäristöön yhtäkkisiä muutoksia, jotka voivat olla mahdollisia myös tuotantoympäristössä ja aiheuttavat *IRF split* –tilanteen. Samaan aikaan tuotetaan liikennettä työasemien välillä ja tutkitaan vikatilanteiden vaikutusta liikennevirtoihin.

Tavoitteena on nähdä MAD-viestien välitys vikatilanteissa ja toteutuvatko suunnittelujen priority-arvojen mukaiset IRF-topologiat *split*-tilanteissa.

Näin toimeksiantajalle havainnollistetaan IRF:n toiminta ja se, kuinka LACP MAD toimii määritettyjen arvojen mukaisesti. Tulosten perusteella toimeksiantajan tulisi pystyä varautumaan vikatilanteiden aiheuttamiin palvelukatkoksiin ja IRF:n toimintaan esimerkiksi huoltotilanteissa.

LACP:n toimintaa ei katsottu tarpeelliseksi todentaa erikseen protokollaviestien tasolla, sillä porttikanavien toimivuus tulee esille MAD:n toiminnassa Extended LACP-viesteinä, sekä liikennevirtojen jatkuvuudessa vikatilanteiden aikana.

### 6.2 Debugging-komennot

MAD:n toimintaa vikatilanteissa tutkitaan sekä IRF-kytkimen että MAD-välittäjäkytkimen debug-tietojen avulla. Ilman erillistä lokiserveriä tämä onnistuu tulostamalla debug-viestit suoraan terminaaliin ja keräämällä kaikki tapahtumat Puttyn lokitiedostoon, josta tapahtumia voidaan myöhemmin tarkastella.

IRF-kytkimessä määritetään ensin järjestelmäviestit ja debug-tapahtumat tulostamaan terminaaliin. Seuraavaksi määritetään debug-kohteeksi MAD ja kaikki sen viestit. Tämä tapahtuu *user-view* –tilassa seuraavilla komennoilla:

```

<Member1> terminal monitor
<Member1> terminal debugging
<Member1> debugging mad all

```

Debugging-asetukset voi tarkastaa seuraavalla komennolla:

```

<Member1> display debugging <all / protocol>

```

MAD-sw:n ja Win7-työaseman välillä oli konsoliyhteys, jonka tarkoitus oli taltioida MAD-sw:n kautta kulkevat MAD-viestit. MAD-sw:n LACP-tapahtumat tulostetaan suoraan komentoriville debug-toiminnolla, mikä onnistuu seuraavilla komennoilla:

```

MAD-sw# debug destination session
MAD-sw# debug lacp packet

```

## 6.3 Portin monitorointi

### 6.3.1 IRF-kytkin

IRF-kytkimessä voidaan monitoroida myös kaikkia rajapintoja lukuun ottamatta IRF-portteja. Testiympäristössä monitorointi suoritetaan paikallisesti. Ensin täytyy määrittää "mirroring-group 1" paikalliseksi, johon sen jälkeen sisällytetään peilattavat portit sekä portti, johon liikenne peilataan liikenneanalysaattoriin vietäväksi. Esimerkiksi Member1:n MAD-portin *in*- ja *out*- liikenne peilataan XGE 1/0/20 –porttiin seuraavilla komennoilla:

```

[Member1] mirroring-group 1 local
[Member1] mirroring-group 1 mirroring-port ten 1/0/10 both
[Member1] mirroring-group 1 monitor-port Ten-GigabitEthernet 1/0/20

```

Kuviossa 89 on esitetty IRF-kytkimen mirror-group 1:n tiedot komennolla "display mirroring-group 1".

```
[Member1]dis mirroring-group 1
mirroring-group 1:
  type: local
  status: active
  mirroring port:
    Ten-GigabitEthernet1/0/10  both
    Ten-GigabitEthernet3/0/10  both
    Ten-GigabitEthernet5/0/10  both
    Ten-GigabitEthernet7/0/10  both
  mirroring CPU:
  monitor port: Ten-GigabitEthernet1/0/20
```

Kuvio 89. IRF-kytkin mirror-group 1

Koska vikatilanteiden aikana MAD sulkee *recovery*-tilassa olevien IRF-kytkimien kaikki fyysiset portit lukuun ottamatta IRF-portteja, täytyy monitorointiportti määrittää erikseen MAD:n ”*exclude ports*” -listaan. Näin porttia ei suljeta MAD:n asettaessa kytkimet *recovery*-tilaan, ja monitorointi voi jatkua. Tämä voidaan suorittaa myös loogisille porttikanaville. Rajapinta jätetään ulos MAD:n toiminnasta seuraavalla komennolla:

```
[Member1] mad exclude interface Ten-GigabitEthernet 3/0/20
```

Kuviossa 90 näkyy, kuinka rajapinta on lisätty ”*excluded ports*” -listaan.

```
[Member1]dis mad ver
Current MAD status: Detect
Excluded ports(configurable):
  Ten-GigabitEthernet3/0/20
Excluded ports(can not be configured):
  Ten-GigabitEthernet1/0/1
  Ten-GigabitEthernet1/0/2
  Ten-GigabitEthernet3/0/1
  Ten-GigabitEthernet3/0/2
  Ten-GigabitEthernet5/0/1
  Ten-GigabitEthernet5/0/2
  Ten-GigabitEthernet7/0/1
  Ten-GigabitEthernet7/0/2
MAD ARP disabled.
MAD enabled aggregation port:
  Bridge-Aggregation1
MAD BFD disabled.
```

Kuvio 90. MAD excluded ports

### 6.3.2 MAD-sw

Niin MAD-sw:ssä kuin muissakin liityntäkytkimissä voidaan peilata porttien liikennettä. Ensin määritetään portti, johon liikenne peilataan. Sen jälkeen portti, jota halu-

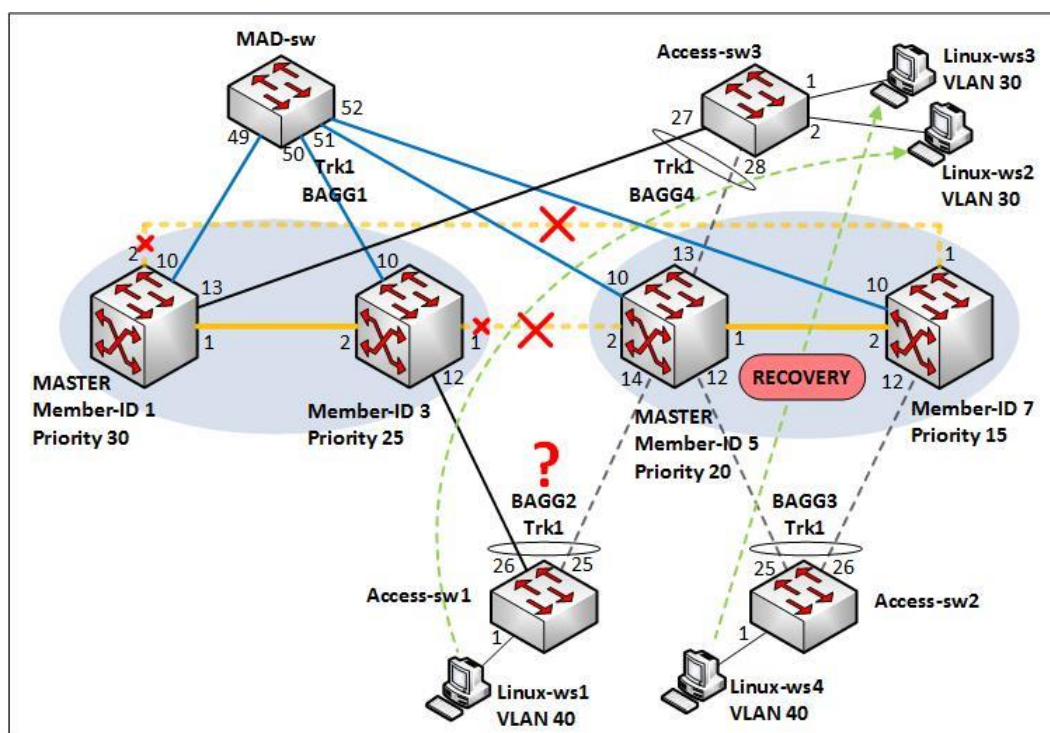
taan monitoroida. MAD-porttikanavan liikenteen peilaus porttiin 1 onnistuu MAD-sw:ssä seuraavilla komennoilla:

```
MAD-sw(config)# mirror-port 1
MAD-sw(config)# int trk1 monitor
```

## 6.4 Testi 1

### 6.4.1 IRF split

Ensimmäisen testivaiheen topologia on rakennettu jo aiemmin konfigurointiosiossa, ja esitetty kuvioissa 46 ja 47. Testin tarkoituksena on aiheuttaa *IRF split* -tilanne, jossa muodostuu kaksi saman kokoista IRF-domainia irrottamalla kuitukaapelit IRF-porteista 1/0/2 ja 3/0/1. Samaan aikaan työasemilla WS1 ja WS4 lähetetään jatkuvaa ping-kyselyvirtaa työasemille WS3 ja WS4. Määritettyjen priority-arvojen mukaan Member1:n ja Member3:n muodostaman IRF-domainin tulisi jäädä aktiiviseksi, jolloin ainoastaan WS1:n ping-kyselyjen tulisi jatkua linkkivälien vikaantumisen jälkeen. Testin tarkoitus on havainnollistettu kuviossa 91.



Kuvio 91. Testi 1

Työasemien ping-kyselyjen intervalli oli 0.2 sekuntia, ja ne aloitettiin työasemilla yhtä aikaa. Pian sen jälkeen kuitukaapelit irrotettiin IRF-porteista, minkä seurauksena *IRF split* tapahtui. Ping-kyselyt lopetettiin manuaalisesti hetki tämän jälkeen. Bridge MAC –osoite on määritetty oletuksena vaihtumaan vasta 6 minuuttia alkuperäisen master-kytkimen katoamisen jälkeen.

Kuviossa 92 on esitetty aktiivisen IRF-domainin jäsenkytkimet *IRF split* –tilanteessa sen jälkeen, kun kuitukaapelit on irrotettu IRF-porteista 1/0/2 ja 3/0/1. Kuten kuvios-  
ta näkyy, Member5 ja Member7 ovat kadonneet IRF-topologiasta.

```
<Member1>dis irf
Switch  Role    Priority  CPU-Mac          Description
*+1     Master   30       cc3e-5f75-9895   Palvelinhuone
  3     Slave   25       cc3e-5f75-9f79   Laitetila1
-----

* indicates the device is the master.
+ indicates the device through which the user logs in.

The Bridge MAC of the IRF is: cc3e-5f75-9894
Auto upgrade           : yes
Mac persistent         : 6 min
Domain ID              : 10
```

Kuvio 92. Testi 1 aktiivinen IRF-domain

Kuviossa 93 näkyy aktiivisen IRF-domainin IRF-porttien tila. Tilanne on yhtenevä kuviossa 91 esitettyjen valokuitujen irrottamisen kanssa.

```
<Member1>dis irf topo
                        Topology Info
-----
                IRF-Port1                IRF-Port2
Switch  Link    neighbor  Link    neighbor  Belong To
3       DOWN    --        UP      1          cc3e-5f75-9895
1       UP      3         DOWN    --          cc3e-5f75-9895
```

Kuvio 93. Testi 1 aktiiviset IRF-portit

*IRF split* aiheuttaa Access-sw1:n porttikanava Trk1:een sen, että toinen fyysinen portti sulkeutuu Member5:n siirtyessä MAD:n ansiosta *recovery*-tilaan. Kuviossa 94 näkyy Access-sw1:n porttikanava Trk1:n tilanne, jossa fyysinen portti 25 on "down"-tilassa.

```
Access-sw1# sh lacp
```

LACP							
Port	LACP Enabled	Trunk Group	Port Status	Partner	LACP Status	Admin Key	Oper Key
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
25	Active	Trk1	Down	No	Success	0	54
26	Active	Trk1	Up	Yes	Success	0	54

Kuvio 94. Testi 1 Access-sw1:n porttikanava

Kuviossa 95 taas näkyy, kuinka Access-sw1:n porttikanavan fyysinen rajapinta 26 näkee LACP-naapurin System ID –arvona IRF-kytkimen Bridge MAC –osoitteen. Rajapinta 25 ei näe *recovery*-tilassa olevan toisen IRF-domainin Bridge MAC -osoitetta.

```
Access-sw1# sh lacp peer
```

```
LACP Peer Information.
```

```
System ID: a45d36-a8ece0
```

Local Port	Local Trunk	System ID	Port	Port Priority	Oper Key	LACP Mode	Tx Timer
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
25	Trk1	000000-000000	69	32768	4	Active	Slow
26	Trk1	cc3e5f-759894	41	32768	4	Active	Slow

Kuvio 95. Testi 1 Access-sw1:n LACP-tiedot

Kuviossa 96 on esitetty Access-sw3:n LACP-tiedot. Kuten näkyy, *recovery*-tilassa olevan IRF-domainin Bridge MAC –osoite ei ole saatavilla myöskään Access-sw3:n porttikanava Trk1:n fyysisen rajapinnan 28 kautta. Näin ollen työasemille WS2 ja WS3 saadaan yhteys ainoastaan rajapinnan 27 kautta.

```
Access-sw3# sh lacp peer
```

```
LACP Peer Information.
```

```
System ID: 082e5f-e94f60
```

Local Port	Local Trunk	System ID	Port	Port Priority	Oper Key	LACP Mode	Tx Timer
27	Trk1	cc3e5f-759894	17	32768	2	Active	Slow
28	Trk1	000000-000000	68	32768	2	Active	Slow

Kuvio 96. Testi 1 Access-sw3:n LACP-tiedot

MAD-sw:n porttikanava Trk1:n tila on esitetty kuviossa 97. Kuviosta voidaan havaita, että fyysisten porttien 49 ja 50 takaa löytyy loogisen IRF-kytkimen Bridge MAC – osoite. Porttien 51 ja 52 takana oleva Member5:n ja Member7:n muodostama IRF-domain on *recovery*-tilassa, ja sen Bridge MAC –osoite on tyhjä.

```
MAD-sw# sh lacp peer
```

```
LACP Peer Information.
```

```
System ID: 7446a0-e41cc0
```

Local Port	Local Trunk	System ID	Port	Port Priority	Oper Key	LACP Mode	Tx Timer
49	Trk1	cc3e5f-759894	14	32768	1	Active	Slow
50	Trk1	cc3e5f-759894	39	32768	1	Active	Slow
51	Trk1	000000-000000	65	32768	1	Active	Slow
52	Trk1	000000-000000	91	32768	1	Active	Slow

Kuvio 97. Testi 1 MAD-sw:n porttikanava Trk1 vikatilanteessa

Kuviossa 98 on esitetty IRF-kytkimen VLAN-rajapintojen sekä porttikanavien tilat aktiivisessa IRF-domainissa. BAGG3 on ”down”-tilassa, sillä siihen sisällytetyt fyysiset portit sijaitsevat *recovery*-tilassa olevissa Member5- ja Member7-jäsenkytkimissä. Muiden porttikanavien nopeudet ovat laskeneet, sillä MAD on sulkenut niiden fyysisiä portteja. Virtuaaliset VLAN-rajapinnat ovat pysyneet ylhäällä, sillä niillä jokaisella on käytössä vielä aktiivisia portteja *IRF split* –tilanteen aikana.



```
<Member1>dis int bri
The brief information of interface(s) under route mode:
Link: ADM - administratively down; Stby - standby
Protocol: (s) - spoofing
Interface          Link Protocol Main IP          Description
M-GEO/0/0          DOWN DOWN      --
NULL0              UP    UP(s)      --
Vlan1               UP    UP         --
Vlan10              UP    UP         192.168.10.10  Hallinta-VLAN
Vlan30              UP    UP         192.168.30.1  DATA-VLAN
Vlan40              UP    UP         192.168.40.1  SRV-VLAN

The brief information of interface(s) under bridge mode:
Link: ADM - administratively down; Stby - standby
Speed or Duplex: (a)/A - auto; H - half; F - full
Type: A - access; T - trunk; H - hybrid
Interface          Link Speed  Duplex Type PVID Description
BAGG1              UP    2G(a)    F(a)  T   20  MAD-link
BAGG2              UP    1G(a)    F(a)  T   1   Link-to-Access-sw1
BAGG3              DOWN  auto     A      T   1   Link-to-Access-sw2
BAGG4              UP    1G(a)    F(a)  T   1   Link-to-Access-sw3
```

Kuvio 98. Testi 1 Aktiivisen IRF-kytkimen porttikanavat ja VLAN-rajapinnat

Kuviossa 99 on esitetty aktiivisen IRF-domainin yhteenveto porttikanavista eri komennolla, kuin edellisessä kuviossa. Aktiivisten fyysisten porttien lukumäärä sekä porttikanavan vastapäisten aktiivilaitteiden *Partner ID*:t ovat nähtävillä.

```
<Member1>dis link sum

Aggregation Interface Type:
BAGG -- Bridge-Aggregation, RAGG -- Route-Aggregation
Aggregation Mode: S -- Static, D -- Dynamic
Loadsharing Type: Shar -- Loadsharing, NonS -- Non-Loadsharing
Actor System ID: 0x8000, cc3e-5f75-9894
```

AGG Interface	AGG Mode	Partner ID	Select Ports	Unselect Ports	Share Type
BAGG1	D	0x1cc0, 7446-a0e4-1cc0	2	0	Shar
BAGG2	D	0xece0, a45d-36a8-ece0	1	0	Shar
BAGG3	D	none	0	0	Shar
BAGG4	D	0x4f60, 082e-5fe9-4f60	1	0	Shar

Kuvio 99. Testi 1 Aktiivisen IRF-kytkimen porttikanavien yhteenveto

MAD lähettää eri tyyppisiä paketteja, jotka ilmoitetaan eri otsikoilla ja numeroilla.

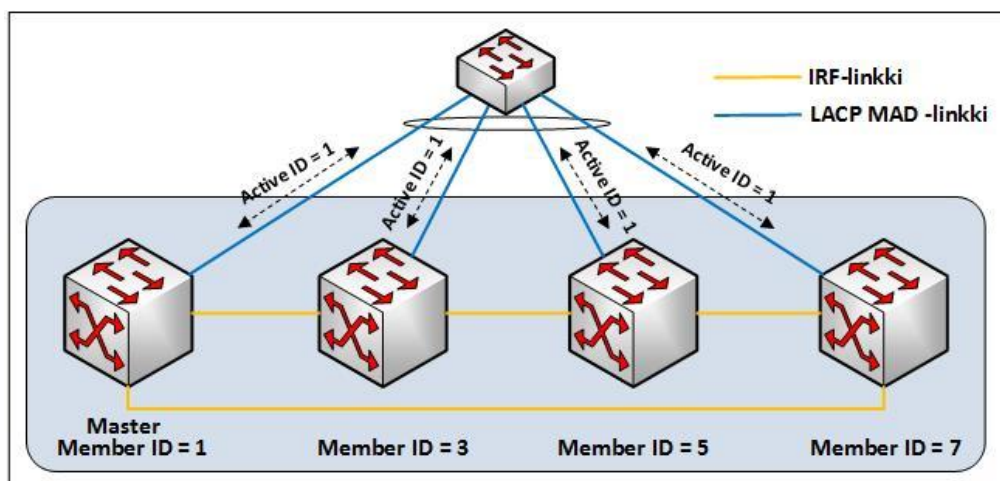
Kuviossa 100 on kuvankaappaus eri pakettityyppien (*PktType*, *Result*) selityksistä.



```
PktType(0: HELLO, 1: CheckAlive, 2: AliveACK)
Result(0: Success, Other: Failed)
```

Kuvio 100. MAD PktType &amp; Result

Normaalitilanteessa MAD-viestit kulkevat testiympäristössä kuviossa 101 havainnollistetulla tavalla.



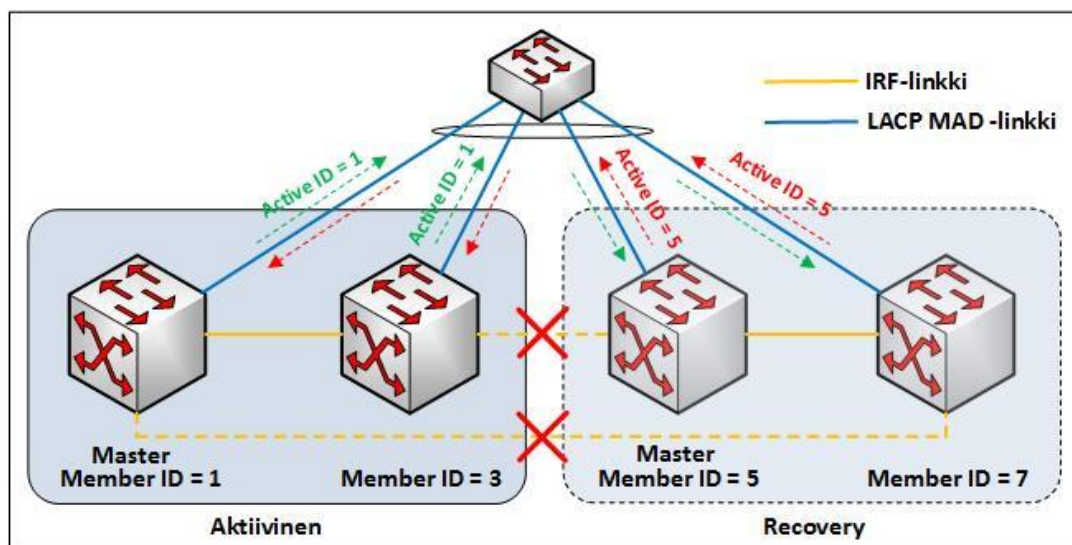
Kuvio 101. Testi1 LACP MAD normaali tilanne

Kuviossa 102 on esitetty IRF-kytkimen debug-toiminnolla komentoriville tulostettu LACP MAD –viesti, jonka Member7 lähettää rajapinnan 7/0/10 kautta MAD-välittäjäkytkimeen, joka välittää sen muille IRF-jäsenkytkimille. Viestin TLV-kenttä kertoo, että Member7 sijaitsee IRF-domain 10:ssä, jonka MAD-toimintaa hallitseva member-ID on 1 (master-kytkin) ja Bridge MAC –osoite on "cc3e-5f75-9894".

```
*Apr 27 00:14:53:623 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT: -Slot=7;
MAD LACP send MAD TLV message from [Ten-GigabitEthernet7/0/10 of Bridge-Aggregation1]:
self member-id is [1], domain id is [10], bridge MAC is [cc3e-5f75-9894].
```

Kuvio 102. Testi 1 normaalitilanteen MAD TLV

Testin vikatilanteessa LACP MAD –viestien tulisi kulkea kuvion 103 tavoin. Member5 valitaan master-kytkimeksi toiseen domainiin, joka siirtyy *recovery*-tilaan suuremman active-ID:n takia.



Kuvio 103. Testi 1 LACP MAD vikatilanne

Kuviossa 104 on esitetty Member1:n näkymä tilanteesta välittömästi kuitukaapeleiden irrottamisen jälkeen, jolloin MAD havaitsee kaksi samanaikaista aktiivista domainia. Kuviossa on ensin näkyvissä viimeinen vaihe Member5:n ja Member7:n katoamisesta. Sen jälkeen MAD havaitsee virheen, ja vastaanottaa rajapinnan 1/0/10 kautta MAD TLV:n, jossa toiseksi master-kytkimeksi valittu Member5 kertoo olevansa vastuussa rinnalle muodostuneen domain 10:n toiminnasta (Bridge MAC –osoite pysyy 6 minuuttia vielä samana). Kuvion viimeisellä rivillä ilmoitetaan, että ”MAD Conflict” on havaittu.

```
%Apr 27 00:15:14:560 2000 Member1 DEVM/3/BOARD_REMOVED: Board is removed from Chassis 0 Slot 5, type is MAIN_BOARD_TYPE_26S.
%Apr 27 00:15:14:710 2000 Member1 HA/5/HA_SLAVE_REMOVED: Slave board in slot 5 is removed.
%Apr 27 00:15:14:824 2000 Member1 DEVM/3/BOARD_REMOVED: Board is removed from Chassis 0 Slot 7, type is MAIN_BOARD_TYPE_26S.
%Apr 27 00:15:14:974 2000 Member1 HA/5/HA_SLAVE_REMOVED: Slave board in slot 7 is removed.
%Apr 27 00:15:15:120 2000 Member1 MAD/1/MAD_COLLISION_DETECTED: Multi-active devices detected, please fix it.
*Apr 27 00:15:15:251 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
MAD LACP received MAD TLV message from [Ten-GigabitEthernet1/0/10 of Bridge-Aggregation1]:
detect member-id is [5], detect bridge MAC is [cc3e-5f75-9894], detect domain is [10].
*Apr 27 00:15:15:567 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
MAD Conflict detected by LACP from [Ten-GigabitEthernet1/0/10 of Bridge-Aggregation1], result is [4], SelfSlot [1], MasterSlot [1].
```

Kuvio 104. Testi 1 Member1: MAD Conflict detected

Kuviossa 105 on kuvankaappaus MAD-sw:n debug-näkymästä vikatilanteen alkaessa. Siitä on havaittavissa, kuinka portti 51 vastaanottaa rinnakkaisen domainin ”10” juuri valitulta master-kytkimeltä (Member5) MAD TLV:n. Viestin lähteenä on Active-ID 5 ja kohteen Active-ID on ”0”, sillä Member5:lla ei ole vielä tietoa toisen domainin Active-ID:n oikeasta arvosta. Viestin tyyppi on ”hello”, sillä se on ensimmäinen yritys muo-

dostaa yhteys toiseen domainiin. Bridge MAC -osoite säilyy samana. ”*Activemember*”-arvo on ”0”, sillä Comware5 ei valitse aktiivista domainia jäsenkytkinten määrän perusteella. Huomaa myös LACP-kehiksen suurempi pituus. Kuvion alemmassa osissa MAD-sw välittää viestin Member1:lle portista 49. Huomaa ”*loopcounter*”-arvon kasvu, mikä ilmaisee viestin olevan välitetty viesti alkuperäisen sijaan.

```
0000:03:17:15.71 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 51
0000:03:17:15.78 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0000:03:17:15.85 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 51 with
    type=100, length=24, srcActId=5, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 0, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0

0000:03:17:16.10 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU Tx on port 49
0000:03:17:16.17 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU with MAD TLV Tx on port 49
0000:03:17:16.26 lacp mLACPCtrl:LACP: MAD TLV Tx on port 49 with type=100,
    length=24, srcActId=5, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 1, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0
0000:03:17:16.51 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP MAD TLV reforwarded on port 49
```

Kuvio 105. Testi 1 MAD-sw ensimmäinen tapahtuma

Kuviossa 106 on IRF-kytkimen näkymä siitä, kuinka myös Member3 vastaanottaa MAD TLV:n, jossa Member5 kertoo olevansa rinnakkaisen domain 10:n master-kytkin.

```
*Apr 27 00:15:16:323 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT: -Slot=3;
MAD LACP received MAD TLV message from [Ten-GigabitEthernet3/0/10 of Bridge-Aggregation1]:
detect member-id is [5], detect bridge MAC is [cc3e-5f75-9894], detect domain is [10].
*Apr 27 00:15:16:642 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT: -Slot=3;
MAD Conflict detected by LACP from [Ten-GigabitEthernet3/0/10 of Bridge-Aggregation1], result is [4], SelfSlot [3], MasterSlot [1].
```

Kuvio 106. Testi 1 Member3: MAD Conflict detected

Kuviosta 107 nähdään, kuinka MAD-sw:n portti 52 vastaanottaa Member7:lta MAD TLV:n, jossa se kertoo kuuluvansa Member5:n hallitsemaan domainiin ”10”. Tämä ilmoitus välitetään myös MAD-porttikananan kaikkiin rajapintoihin.

```
0000:03:17:17.54 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 52
0000:03:17:17.62 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0000:03:17:17.69 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 52 with
    type=100, length=24, srcActId=5, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 0, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0
```

Kuvio 107. Testi 1 MAD-sw: Member7 ilmoitus domain-jäsenyydestä

Kun Member5 ja Member7 ovat ilmoittaneet kuuluvansa domainiin "10", jonka active-ID on "5", myös Member1 ja Member3 ilmoittavat omat tietonsa. Kuviossa 108 näkyy, kuinka MAD-sw:n portit 49 ja 50 vastaanottavat Member1:n ja Member3:n MAD TLV –viestit. Viestien "dstActId"-arvo on vielä tyhjä, sillä kytkimet eivät tässä vaiheessa tiedä toisen domainin active-ID:tä. Nämä tiedot välitetään MAD-porttikanavan kaikkiin rajapintoihin.

```
0000:03:17:23.05 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 49
0000:03:17:23.12 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0000:03:17:23.19 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 49 with
    type=100, length=24, srcActId=1, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 0, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0

0000:03:17:24.92 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 50
0000:03:17:24.98 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0000:03:17:25.06 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 50 with
    type=100, length=24, srcActId=1, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 0, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0
```

Kuvio 108. Testi 1 MAD-sw: Member1 ja Member3 ilmoitus domain-jäsenyydestä

Kun molemmat domainit ovat lähettäneet tiedot itsestään, Member1:n ja Member3:n muodostama domain ilmoittaa toiselle domainille omistavansa pienemmän active-ID:n. Kuviossa 109 on esitetty, kuinka MAD-sw vastaanottaa domain-tiedot Member1:ltä ja Member3:lta. Viestin tyyppi on nyt "CheckAlive", ja viestin määrään pään ilmaisee kohta "dstActId = 5".

```
0000:03:17:26.74 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 49
0000:03:17:26.81 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0000:03:17:26.89 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 49 with
    type=100, length=24, srcActId=1, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=1,
    loopcounter = 0, dstActId = 5, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0

0000:03:17:30.39 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 50
0000:03:17:30.46 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0000:03:17:30.53 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 50 with
    type=100, length=24, srcActId=1, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=1,
    loopcounter = 0, dstActId = 5, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0
```

Kuvio 109. Testi 1 MAD-sw: Member1 ja Member3 active-ID –tiedot

Kuviossa 110 on esitetty IRF-kytkimen näkymä siitä, kuinka Member1 lähettää "CheckAlive"-pyynnön Member5:lle (lähteen active-ID on 1, kohteen active-ID on 5).



```
*Apr 27 00:15:17:216 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
MAD LACP packet sender:
  Packet detail: SrcActiveID: [1], DstActiveID [5], PacketType [1], DomainID: [10].
```

Kuvio 110. Testi 1 Member1 CheckAlive-pyyntö Member5:lle

Vaihdettujen MAD TLV –viestien perusteella MAD sai tietoonsa molempien domainien active-ID –arvot, ja sulki rinnakkaisen domainin. Ennen kuin IRF-linkki korjataan, MAD TLV –viestejä ei enää välitetä Member5:lle ja Member7:lle, sillä BAGG1-porttikanavan kyseiset rajapinnat ovat suljettu (kts. kuviot 97-99).

### 6.4.2 IRF split – työasemien tulokset

Työasemalla WS4 suoritettu ping-kysely katkesi odotetusti IRF:n hajoamisen jälkeen, sillä Member5 ja Member7 siirtyivät *recovery*-tilaan. WS1:n ping-kyselyn tuloksessa oli havaittavissa vikatilanteen vaikutus Access-sw1:n ja IRF-kytkimen väliseen porttikanavaan, mikä on esitetty kuviossa 111. Pakettihävikkiin olisi saatu tarkemmat luvut, mikäli ping-komentoon olisi määritetty suurempi intervalli. Testi kuitenkin ilmaisi yhteyden jatkuvuuden vikatilanteessa, joka aiheutti 1% pakettihävikin.

```
ws1@linux-ws1:~$ ping 192.168.30.12 -q -i 0.2
PING 192.168.30.12 (192.168.30.12) 56(84) bytes of data.
^C
--- 192.168.30.12 ping statistics ---
1252 packets transmitted, 1237 received, 1% packet loss, time 250349ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.139/2.708/1038.954/43.716 ms, pipe 5
```

Kuvio 111. Testi 1 WS1:n ping IRF split -tilanteessa

### 6.4.3 IRF merge

Kun IRF-portteihin kytketään kaapelit yhtä aikaa takaisin, tapahtuu *IRF merge*. IRF-kytkimessä näkyy ensin, kuinka fyysiset IRF-portit 1/0/2 ja 3/0/1 nousevat ylös ja sen jälkeen loogiset IRF-portit 1 ja 2. Tämä on esitetty kuviossa 112.

```
#Apr 27 01:30:29:753 2000 Member1 IFNET/3/LINK_UPDOWN: Ten-GigabitEthernet1/0/2 link status is UP.
#Apr 27 01:30:29:874 2000 Member1 IFNET/3/LINK_UPDOWN: Ten-GigabitEthernet3/0/1 link status is UP.

#Apr 27 01:30:30:117 2000 Member1 STM/6/STM_LINK_STATUS_UP: -Slot=3;
IRF port 1 is up.
#Apr 27 01:30:30:227 2000 Member1 STM/6/STM_LINK_STATUS_UP:
IRF port 2 is up.
```

### Kuvio 112. Testi 1 IRF merge link status up

Kuviossa 113 näkyy, kuinka ”link status” muuttuu tilaan ”1” Member3:n IRF-portissa 1 ja Member1:n IRF-portissa 2.

```
#Apr 27 01:30:30:328 2000 Member1 STM/4/LINK STATUS CHANGE: -Slot=3;
Trap 1.3.6.1.4.1.25506.2.91.6.0.1: Physical index of the member is 4, member ID is 3. Link status of the IRF port with port index 1 and member ID 3 turned to 1.
#Apr 27 01:30:30:618 2000 Member1 STM/4/LINK STATUS CHANGE:
Trap 1.3.6.1.4.1.25506.2.91.6.0.1: Physical index of the member is 2, member ID is 1. Link status of the IRF port with port index 2 and member ID 1 turned to 1.
#Apr 27 01:30:30:909 2000 Member1 STM/5/TOPOLOGY CHANGE:
Trap 1.3.6.1.4.1.25506.2.91.6.0.2: The IRF topology turned to 2.
#Apr 27 01:30:31:059 2000 Member1 STM/5/TOPOLOGY CHANGE:
Trap 1.3.6.1.4.1.25506.2.91.6.0.2: The IRF topology turned to 2.
#Apr 27 01:30:31:277 2000 Member1 DEVH/1/BOARD INSERTED:
Trap 1.3.6.1.4.1.25506.8.35.12.1.9: chassisIndex is 0, slotIndex 0.5
#Apr 27 01:30:31:438 2000 Member1 DEVH/1/BOARD INSERTED:
Trap 1.3.6.1.4.1.25506.8.35.12.1.9: chassisIndex is 0, slotIndex 0.7
```

### Kuvio 113. Testi 1 IRF merge link status change

Kuvion 114 ensimmäisessä osiossa näkyy, kuinka MAD-sw vastaanottaa ensin pariin kertaan viestejä Member7:lta IRF mergen alussa. Sen jälkeen MAD-sw välittää aktiivisen domainin vastauksen porttiin 52. Tässä vaiheessa Member7 liittyy aktiiviseen IRF-domainiin, joka näkyy seuraavassa sen lähettämässä viestissä; viimeisenä MAD-sw vastaanottaa portista 52 MAD TLV:n, jossa Member7 kertoo sijaitsevasa domainissa 10, jonka active-ID on 1. Näin ollen IRF merge on tapahtunut. Kuvion jälkimmäisessä osassa sama tapahtuu MAD-sw:n rajapinnassa 51, eli Member5:lla.

```
0000:04:33:54.69 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 52
0000:04:33:54.76 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 52
0000:04:33:55.15 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU Tx on port 52
0000:04:33:55.22 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 52
0000:04:33:55.29 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0000:04:33:55.36 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 52 with
    type=100, length=24, srcActId=1, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 0, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0

0000:04:34:03.76 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 51
0000:04:34:03.82 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 51
0000:04:34:04.29 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU Tx on port 51
0000:04:34:04.36 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 51
0000:04:34:04.43 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0000:04:34:04.50 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 51 with
    type=100, length=24, srcActId=1, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 0, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0
```

### Kuvio 114. Testi 1 MAD-sw: IRF merge

Kuviosta 115 voidaan havaita *IRF mergen* tapahtuvan IRF-kytkimen näkymässä, ja MAD:n valitsevan aktiivisen domainin onnistuneesti.

```
*Apr 27 01:29:07:354 2000 Member1 STM/4/STM_LINK_RECOVERY:
Merge occurs.
*Apr 27 01:29:07:444 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
MAD elect success in merge.
*Apr 27 01:29:07:544 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
MAD elect success in merge.
```

Kuvio 115. Testi 1 MAD elect success in merge

Kuviossa 116 on IRF-kytkimen näkymä siitä, kun Member7 ja Member5 synkronoi-  
daan IRF-domainiin.

```
*Apr 27 01:31:35:234 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
SlotInsert: synchronizing IRF domain to [7]..
*Apr 27 01:31:36:028 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
SlotInsert: synchronizing IRF domain to [5]..
```

Kuvio 116. Testi 1 *IRF merge* synchronizing

IRF-linkkien korjaamisen jälkeen IRF-kytkimen porttikanavat nousevat toimintaan.

Kuviossa 117 näkyy, kuinka jokaisen BAGG-rajapinnan fyysiset portit ovat jälleen "se-  
lected"-tilassa.

```
[Member1]dis link sum
```

```
Aggregation Interface Type:
BAGG -- Bridge-Aggregation, RAGG -- Route-Aggregation
Aggregation Mode: S -- Static, D -- Dynamic
Loadsharing Type: Shar -- Loadsharing, NonS -- Non-Loadsharing
Actor System ID: 0x8000, cc3e-5f75-9894
```

AGG Interface	AGG Mode	Partner ID	Select Ports	Unselect Ports	Share Type
BAGG1	D	0x1cc0, 7446-a0e4-1cc0	4	0	Shar
BAGG2	D	0xece0, a45d-36a8-ece0	2	0	Shar
BAGG3	D	0x87c0, a45d-36a8-87c0	2	0	Shar
BAGG4	D	0x4f60, 082e-5fe9-4f60	2	0	Shar

Kuvio 117. Testi 1 porttikanavat vikatilanteen jälkeen

IRF-linkkien takaisin kytkennän ajaksi samanlainen ping-kysely lähetettiin työasemalta WS1 kohti työasema WS2:sta. IRF merge ei aiheuttanut pakettihävikkiä, kuten kuvio 118 voidaan nähdä.

```
ws1@linux-ws1:~$ ping 192.168.30.12 -q -i 0.2
PING 192.168.30.12 (192.168.30.12) 56(84) bytes of data.
^C
--- 192.168.30.12 ping statistics ---
1980 packets transmitted, 1980 received, 0% packet loss, time 395798ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.135/0.190/0.223/0.020 ms
```

Kuvio 118. Testi 1 WS1:n ping-kysely *IRF mergen* aikana

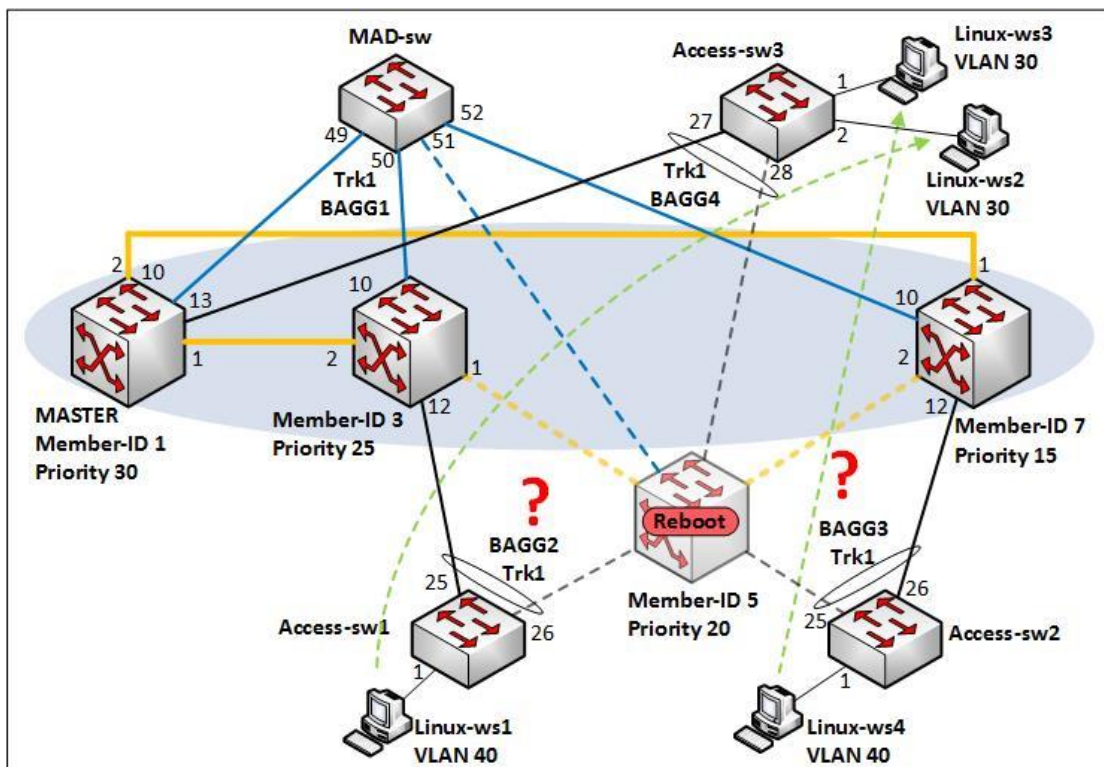
## 6.5 Testi 2

### 6.5.1 Testin vaiheet

Toisessa testivaiheessa lähetetään jatkuvaa ping-kyselyä työasemilta WS1 ja WS4 työasemille WS2 ja WS3, ja sen aikana käynnistetään Member5 uudelleen. Tämä kuvaa tuotantoympäristön tilannetta, jossa esimerkiksi kytkimen virtalähteet joudutaan vaihtamaan ja tämä aiheuttaa yhdessä jäsenkytkimessä lyhyehkön käyttökatkon.

Testin tarkoitus on havainnollistettu kuviossa 119. Kuviosta näkyy, kuinka Member5:n käynnistyessä uudelleen liikennevirtojen täytyy kulkea kohti Access-sw3:sta Member1:n kautta, jolloin rengastopologian hyödyt tulevat esiin. Huomaa Access-sw1:n porttien 25 ja 26 järjestyksen vaihtuminen edellisen testin jälkeen.





Kuvio 119. Testi 2

Member5:n uudelleenkäynnistys onnistuu IRF-kytkimessä seuraavalla komennolla:

```
<Member1> reboot slot 5
```

Kokeilujen perusteella uudelleenkäynnistys kestää testiympäristössä noin 165 sekuntia, minkä jälkeen kaikki porttikanavat ovat toiminnassa. Näin ollen ping-kyselyt määritettiin kestämään 200 sekuntia, ja kyselyiden intervalli oli 0,01 sekuntia. Kuviossa 120 on esitetty kyseinen ping-kysely toimivassa ympäristössä työasemalla WS1. Siitä voidaan havaita, että ympäristön toimiessa normaalisti ICMP-paketeista yksikään ei häviä 200 sekunnin aikana.

```
ws1@linux-ws1:~$ sudo ping 192.168.30.12 -q -i 0.01 -w 200
PING 192.168.30.12 (192.168.30.12) 56(84) bytes of data.
```

```
--- 192.168.30.12 ping statistics ---
16667 packets transmitted, 16667 received, 0% packet loss, time 199989ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.127/0.167/0.217/0.033 ms
```

Kuvio 120. Testi 2 normaalitilanteen ping WS1:llä

Kuviossa 121 on esitetty sama tilanne työasemalla WS4. Myöskään tämän liikennevirran ICMP-paketeista yksikään ei häviä 200 sekunnin aikana.

```
ws4@Linux-ws4:~$ sudo ping 192.168.30.13 -q -i 0.01 -w 200
PING 192.168.30.13 (192.168.30.13) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.30.13 ping statistics ---
16667 packets transmitted, 16667 received, 0% packet loss, time 19
9989ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.162/0.170/0.187/0.011 ms
```

Kuvio 121. Testi 2 normaalitilanteen ping WS4:lla

Lisäksi Iperf-ohjelmalla tuotettiin liikennettä 200 sekunnin ajan 0,5 sekunnin intervallilla ja 1000Mb sekunnissa. Kuviossa 122 on esitetty kyseinen iperf-komento työasemalla WS1.

```
ws1@linux-ws1:~$ iperf -c 192.168.30.12 -b1000m -t 200 -i 0.5
```

Kuvio 122. Testi 2 WS1:n iperf-komento

Kuviossa 123 on esitetty sama iperf-komento työasemalla WS4.

```
ws4@Linux-ws4:~$ iperf -c 192.168.30.13 -b1000m -t 200 -i 0.5
```

Kuvio 123. Testi 2 WS4:n iperf-komento

Välittömästi kyselyjen aloittamisen jälkeen suoritettiin komento, jolla Member5 käynnistyy uudestaan. Operaation aikana IRF-domainista puuttuu Member5, mikä on esitetty kuviossa 124.

```
<Member1>dis irf
Switch  Role  Priority  CPU-Mac          Description
*+1    Master   30        cc3e-5f75-9895    Palvelinhuone
  3     Slave   25        cc3e-5f75-9f79    Laitetila1
  7     Slave   15        cc3e-5f75-97d8    Laitetila2
-----

* indicates the device is the master.
+ indicates the device through which the user logs in.
```

Kuvio 124. Testi2 aktiivinen IRF-domain

## 6.5.2 Työasemien tulokset

Työaseman WS1 ping-kyselyjen tulos on esitetty kuviossa 125. Vaikka liikenne on kulkenut ”*local first*” –kuormanjaon takia Member5:n kautta, ainoastaan 4 pakettia hävisi 200 sekunnin aikana.

```
ws1@linux-ws1:~$ sudo ping 192.168.30.12 -q -i 0.01 -w 200
PING 192.168.30.12 (192.168.30.12) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.30.12 ping statistics ---
16668 packets transmitted, 16664 received, 0% packet loss, time 19
9992ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.128/0.172/0.219/0.031 ms
```

Kuvio 125. Testi 2 WS1 ping-tulos

Työaseman WS4 ping-kyselyjen tulos on esitetty kuviossa 126. Myös tästä liikennevirrasta jäi puuttumaan 4 pakettia, joten tulos oli yhtenevä WS1:n kanssa.

```
ws4@Linux-ws4:~$ sudo ping 192.168.30.13 -q -i 0.01 -w 200
PING 192.168.30.13 (192.168.30.13) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.30.13 ping statistics ---
16668 packets transmitted, 16664 received, 0% packet loss, time 19
9996ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.164/0.172/1.774/0.012 ms
```

Kuvio 126. Testi 2 WS4 ping-tulos

Työaseman WS1 iperf-testin tulos on esitetty kuviossa 127. Vaikka lähetetty kaistanopeus olikin 1000Mbs, liikenteen nopeus on ollut 95,7Mbs johtuen Access-sw3:n 100Mbs-liityntäporteista. Iperf-testi osoittaa, että 88% paketeista on mennyt perille. Viive on millisekunteina alhainen.

```
[ 3] 119.5-120.0 sec 48.5 MBytes 813 Mbits/sec
[ 3] 0.0-120.0 sec 11.3 GBytes 812 Mbits/sec
[ 3] Sent 8288052 datagrams
[ 3] Server Report:
[ 3] 0.0-120.0 sec 1.34 GBytes 95.7 Mbits/sec 0.254 ms 73113
23/8288051 (88%)
[ 3] 0.0-120.0 sec 1 datagrams received out-of-order _
```

Kuvio 127. Testi 2 WS1 iperf-tulos

Työaseman WS4 iperf-testin tulos on esitetty kuviossa 128. Pakettien läpivientiprosentti on yhtenevä WS1:n tuloksen kanssa, joskin WS3 onnistui lähettämään yhden paketin enemmän. Viive on myös korkeampi kuin WS1:n tuloksessa.

```
[ 3] 119.0-119.5 sec 47.7 MBytes 800 Mbits/sec
[ 3] 0.0-120.0 sec 11.2 GBytes 799 Mbits/sec
[ 3] Sent 8153733 datagrams
[ 3] Server Report:
[ 3] 0.0-120.3 sec 1.34 GBytes 95.5 Mbits/sec 14.691 ms 71770
24/8153730 (88%)
[ 3] 0.0-120.3 sec 1 datagrams received out-of-order
```

Kuvio 128. Testi 2 WS4 iperf-tulos

## 6.6 Testi 3

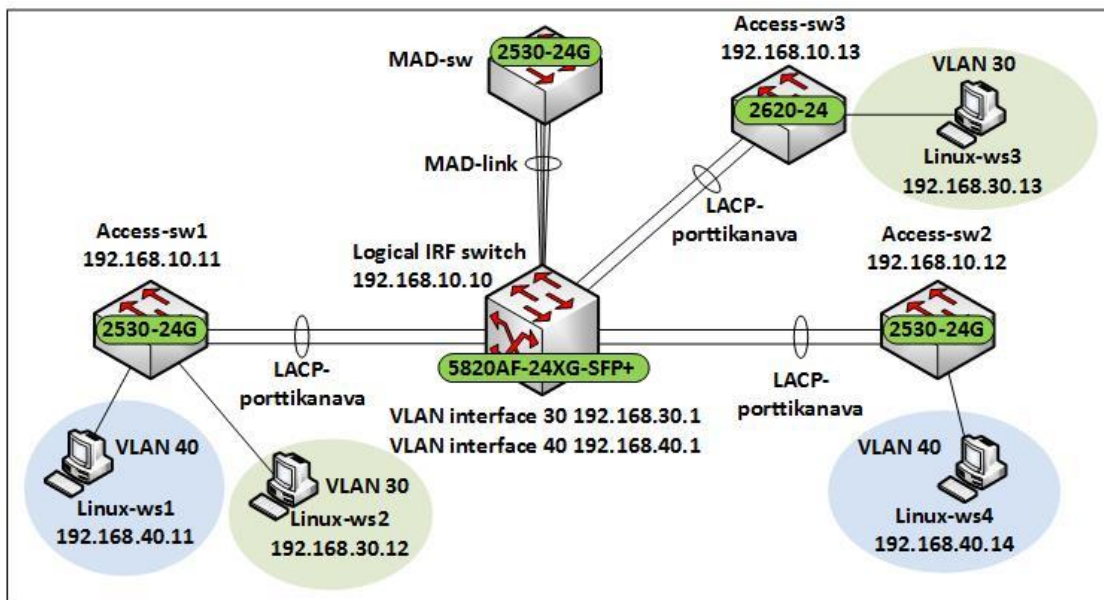
### 6.6.1 IRF split

Testauksen kolmannessa vaiheessa on tarkoitus kuvata tilannetta, joka on ns. *"worst case scenario"* eli pahin mahdollinen tilanne LACP MAD:n toiminnassa Comware5-käyttöjärjestelmällä (kts. luku 3.5.2). Määritettyjen priority-arvojen takia on kahden linkkivälin katkeamisen jälkeen mahdollista joutua tilanteeseen, jossa ainoastaan Member1 on aktiivisessa tilassa, ja muut kolme jäsenkytkintä siirtyvät *recovery*-tilaan. Tämä saattaa katkaista palveluiden saatavuuden kokonaan, mikäli tilanteeseen ei varauduta ja kytkentöjä suunnitella etukäteen.

Kuvion 47 mukainen edellinen ympäristö vaatii muutoksia porttikanaviin, työasemien sijoitteluun ja samalla myös VLAN-asetuksiin sekä työasemien IP-osoitteisiin. Ensin poistetaan rajapinta 5/0/14 kuvauksineen BAGG2-porttikanavasta seuraavilla komennoilla:

```
[Member1] interface Ten-GigabitEthernet 5/0/14
[Member1-Ten-GigabitEthernet5/0/14] shutdown
[Member1-Ten-GigabitEthernet5/0/14] undo description
[Member1-Ten-GigabitEthernet5/0/14] undo port link-aggregation group
```

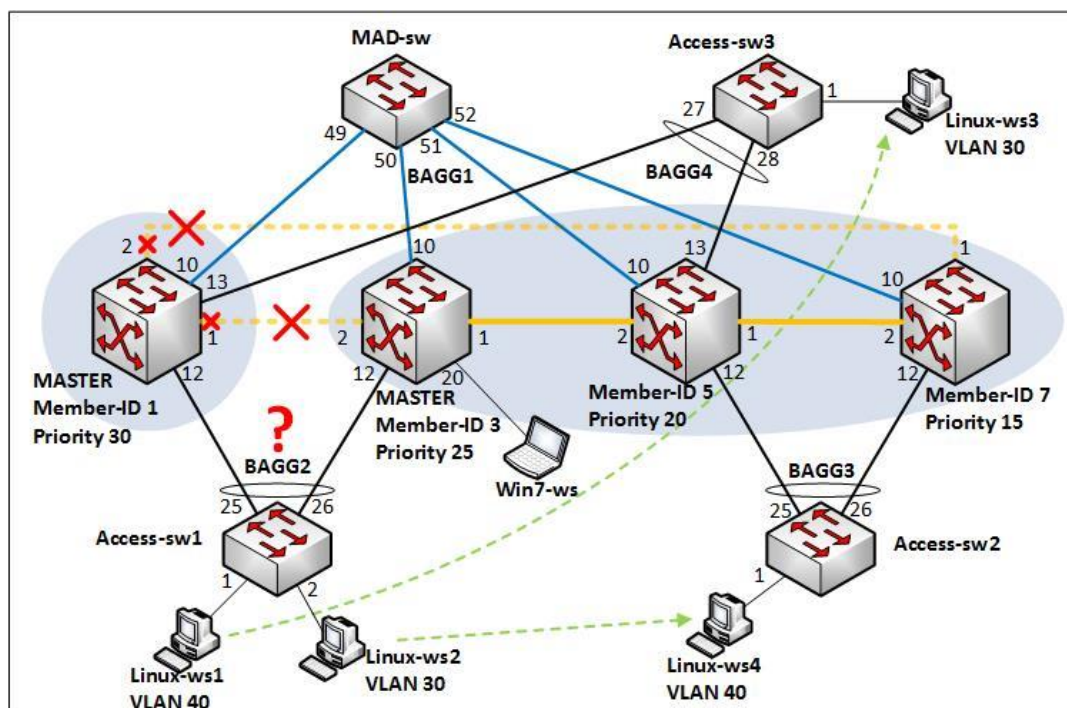
Sitten lisätään rajapinta 1/0/12 porttikanavaan BAGG2. Porttikanavaan tulee myös vielä sallia VLAN 30, joka lisätään myös Access-sw1:n porttiin 2 ja porttikanavaan Trk1. Kun nämä toimenpiteet ja fyysiset kytkennät ovat suoritettu, on looginen topologia kuvion 129 mukainen.



Kuvio 129. Testi 3 looginen topologia

Kuviossa 130 on esitetty testin fyysinen topologia. Kuviossa on havainnollistettu myös työasemilla WS1 ja WS2 suoritettavat ping-kyselyt.





Kuvio 130. Testi 3 fyysinen topologia

*IRF split* aiheutetaan irrottamalla kuitukaapelit Member1:n IRF-porteista 1/0/1 ja 1/0/2. Priority-arvojen perusteella erillisten IRF-domainien master-kytkimiksi valitaan Member1 ja Member3. Ne vertailevat Active-ID -arvojaan MAD-linkkien välityksellä, minkä tuloksena Member1:n domain jää aktiiviseksi ja muut kolme IRF-kytkintä sulkevat fyysiset porttinsa. Samaan aikaan tuotetaan liikennevirtoja työasemilta WS1 ja WS2 kohti työasemia WS3 ja WS4, ja tutkitaan IRF-linkkien vikaantumisen vaikutusta liikenteeseen. Yhteyden työasemien WS2 ja WS4 välillä tulisi katketa, kun toinen IRF-domain siirtyy *recovery*-tilaan.

Ensimmäisenä testataan toimivan ympäristön pakettihävikki ja viive ping-komennoilla työasemilta WS1 ja WS2. Liikennevirran kestoksi määritetään 120 sekuntia ja intervalliksi 0.01 sekuntia. Kuviossa 131 on esitetty ping-kyselyn tulos työasemalla WS1, josta voidaan havaita, että yksikään ICMP-paketti ei häviä.

```
ws1@linux-ws1:~$ sudo ping 192.168.30.13 -i 0.01 -w 120 -q
PING 192.168.30.13 (192.168.30.13) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.30.13 ping statistics ---
10001 packets transmitted, 10001 received, 0% packet loss, time 11
9992ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.123/0.170/0.594/0.037 ms
```

Kuvio 131. Testi 3 normaalitilanteen ping WS1:llä

Kuviossa 132 on esitetty WS2:n tulos, josta niin ikään voidaan havaita pakettihävikin olevan normaalitilanteessa 0%.

```
ws2@linux-ws2:~$ sudo ping 192.168.40.14 -i 0.01 -w 120 -q
PING 192.168.40.14 (192.168.40.14) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.40.14 ping statistics ---
10001 packets transmitted, 10001 received, 0% packet loss, time 11
9996ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.150/0.157/0.188/0.015 ms
```

Kuvio 132. Testi 3 normaalitilanteen ping WS2:lla

Ympäristön toimivuuden todentamisen jälkeen voidaan suorittaa testi. Ping-kyselyt suoritetaan uudestaan, ja heti sen jälkeen irrotetaan kuitukaapelit Member1:n molemmista IRF-porteista.

Kuviossa 133 on esitetty tilanne siitä, kun MAD-sw vastaanottaa Member7:lta MAD TLV:n ympäristön toimiessa normaalisti. Member7 ilmoittaa viestissä kuuluvansa domainiin 10, jonka Active-ID on 1.

```
0000:23:29:53.21 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 52
0000:23:29:53.27 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0000:23:29:53.35 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 52 with
    type=100, length=24, srcActId=1, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 0, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0
```

Kuvio 133. Testi 3 Member7 MAD TLV normaalitilanteessa

Kun Member1:n IRF-porteista irrotetaan kuitukaapelit, IRF-portit siirtyvät *shutdown*-tilaan. Tämä on esitetty kuviossa 134.

```
#Apr 27 20:27:57:086 2000 Member1 STM/4/LINK STATUS CHANGE:
Trap 1.3.6.1.4.1.25506.2.91.6.0.1: Physical index of the member is 2, member ID is 1. Link status of the IRF port with port index 1 and member ID 1 turned to 2.
#Apr 27 20:27:57:367 2000 Member1 IFNET/3/LINK_UPDOWN: Ten-GigabitEthernet1/0/1 link status is DOWN.
#Apr 27 20:27:57:487 2000 Member1 STM/3/STM_LINK_STATUS_DOWN:
IRF port 1 is down.

#Apr 27 20:27:58:771 2000 Member1 STM/4/LINK STATUS CHANGE:
Trap 1.3.6.1.4.1.25506.2.91.6.0.1: Physical index of the member is 2, member ID is 1. Link status of the IRF port with port index 2 and member ID 1 turned to 2.
#Apr 27 20:27:59:546 2000 Member1 IFNET/3/LINK_UPDOWN: Ten-GigabitEthernet1/0/2 link status is DOWN.
#Apr 27 20:27:59:698 2000 Member1 STM/3/STM_LINK_STATUS_DOWN:
IRF port 2 is down.
```

### Kuvio 134. Testi 3 Member1 IRF-ports shutdown

Tässä vaiheessa tapahtuu *IRF split* ja seurauksena muodostuu kaksi rinnakkaista domainia. Member3 valitaan toisen domainin master-kytkimeksi, ja se ilmoittaa siitä MAD-viestillä toiselle domainille (Member1:lle). Kuvion 135 ensimmäisessä osiossa näkyy, kuinka MAD-sw vastaanottaa portista 50 Member3:n MAD TLV:n, jossa Member3 kertoo hallitsevansa domainia 10, jonka Bridge MAC –osoite säilyy vielä samana. Kenttä "*dstActId*" on "0", sillä Member3 ei vielä tiedä toisen domainin Active-ID:tä. Kuvion jälkimmäisessä osiossa MAD-sw välittää viestin portista 49 toiseen domainiin, eli Member1:lle.

```
0000:23:30:04.50 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 50
0000:23:30:04.58 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0000:23:30:04.68 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 50 with
    type=100, length=24, srcActId=3, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 0, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0

0000:23:30:04.92 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU Tx on port 49
0000:23:30:05.00 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU with MAD TLV Tx on port 49
0000:23:30:05.08 lacp mLACPCtrl:LACP: MAD TLV Tx on port 49 with type=100,
    length=24, srcActId=3, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 1, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0
0000:23:30:05.32 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP MAD TLV reforwarded on port 49
```

### Kuvio 135. Testi 3 Member3:n ensimmäinen MAD TLV vikatilanteessa

Edellisen viestin perusteella Member1 havaitsee rinnakkaisen domainin, ja kyseinen tilanne on esitetty kuviossa 136.

```
*Apr 27 20:28:05:154 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
MAD Conflict detected by LACP from [Ten-GigabitEthernet1/0/10 of Bridge-Aggregation1], result is [2], SelfSlot [1], MasterSlot [1]

*Apr 27 20:28:05:389 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
First hello packet from [3] received.
```

### Kuvio 136. Testi 3 Member1 havaitsee rinnakkaisen domainin

Tämän jälkeen Member3 tietää rinnakkaisen domainin Active-ID:n, ja lähettää ilmoituksen omasta domainistaan kaikille jäsenkytkimille. Kuviossa 137 on esitetty, kuinka



MAD-sw ensin vastaanottaa Member3:n ilmoituksen portista 50. Sen jälkeen MAD-sw välittää ilmoituksen portteihin 49, 51, ja 52.

```
0000:23:30:06.35 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 50
0000:23:30:06.43 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0000:23:30:06.50 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 50 with
    type=100, length=24, srcActId=3, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=1,
    loopcounter = 0, dstActId = 1, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0

0000:23:30:06.75 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU Tx on port 49
0000:23:30:06.82 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU with MAD TLV Tx on port 49
0000:23:30:06.90 lacp mLACPCtrl:LACP: MAD TLV Tx on port 49 with type=100,
    length=24, srcActId=3, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=1,
    loopcounter = 1, dstActId = 1, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0
0000:23:30:07.14 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP MAD TLV reforwarded on port 49

0000:23:30:07.22 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU Tx on port 51
0000:23:30:07.29 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU with MAD TLV Tx on port 51
0000:23:30:07.38 lacp mLACPCtrl:LACP: MAD TLV Tx on port 51 with type=100,
    length=24, srcActId=3, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=1,
    loopcounter = 1, dstActId = 1, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0
0000:23:30:07.62 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP MAD TLV reforwarded on port 51

0000:23:30:07.70 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU Tx on port 52
0000:23:30:07.78 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU with MAD TLV Tx on port 52
0000:23:30:07.86 lacp mLACPCtrl:LACP: MAD TLV Tx on port 52 with type=100,
    length=24, srcActId=3, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=1,
    loopcounter = 1, dstActId = 1, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0
0000:23:30:08.10 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP MAD TLV reforwarded on port 52
```

Kuvio 137. Testi 3 Member3:n ilmoitus kaikille jäsenkytkimille

Kuviossa 138 on esitetty Member1:n näkymä MAD-viestien vaihdosta kahden domainin välillä. Ensin Member1 ilmoittaa oman Active-ID:nsä Member3:lle ja sitten vastaa Member3:n lähettämään ilmoitukseen. Sen jälkeen rajapinta 1/0/10 vastaanottaa rinnakkaisen domainin tiedot MAD TLV –viestissä, ja MAD ilmoittaa vikatilanteesta.

```
*Apr 27 20:28:14:479 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
MAD LACP packet sender:
  Packet detail: SrcActiveID: [1], DstActiveID [3], PacketType [2], DomainID: [10].

*Apr 27 20:28:14:680 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
Reply a CheckAlive request, packet detail:
SrcActiveID: [1], DstActiveID: [3], PktType: [2], DomainID: [10].

*Apr 27 20:28:14:880 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
MAD LACP received MAD TLV message from [Ten-GigabitEthernet1/0/10 of Bridge-Aggregation1]:
detect member-id is [3], detect bridge MAC is [cc3e-5f75-9894], detect domain is [10].

*Apr 27 20:28:15:170 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
MAD Conflict detected by LACP from [Ten-GigabitEthernet1/0/10 of Bridge-Aggregation1], result is [2], SelfSlot [1], MasterSlot [1]
```

Kuvio 138. Testi 3 MAD-viestien vaihtoa domainien välillä

MAD-viestien vaihto jatkuu tietyn ajan verran, kunnes tarvittavat tiedot on vaihdettu kaikkien jäsenkytkinten kesken. Sen jälkeen Member1 ei enää vastaanota CheckAlive-vastauksia, ja ilmoittaa MAD:n valinneen aktiivisen domainin. Tämä on esitetty kuviossa 139. Tilanteen jälkeen Member3, Member5 ja Member7 ovat siirtyneet *recovery*-tilaan. Kuvion viimeisessä osiossa näkyy, kuinka Member1:n jatkaa oman tilan mainostamista, kunnes IRF-linkit korjataan.

```
*Apr 27 20:29:00:584 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
Ignoring alive ack packet, packet detail:
SrcActiveID: [3], DstActiveID: [1], PktType: [2]
Self Status: [1].

*Apr 27 20:29:00:794 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
MAD Task: Collision msg received, MAD Status [3], elect result [1].

*Apr 27 20:29:25:791 2000 Member1 MAD/4/MAD_EVENT:
MAD LACP send MAD TLV message from [Ten-GigabitEthernet1/0/10 of Bridge-Aggregation1]:
self member-id is [1], domain id is [10], bridge MAC is [cc3e-5f75-9894].
```

Kuvio 139. Testi 3 MAD valitsee aktiivisen domainin

Kuviossa 140 on esitetty Member3:lla suoritettua ”*display mad verbose*” –komennon tiedot, joista näkyy kyseisen domainin olevan *recovery*-tilassa, jolloin liikenteenvälitys fyysisissä porteissa on pysähtynyt.

```
<Member1>dis mad ver
Current MAD status: Recovery
Excluded ports(configurable):
  Ten-GigabitEthernet3/0/20
Excluded ports(can not be configured):
  Ten-GigabitEthernet3/0/1
  Ten-GigabitEthernet3/0/2
  Ten-GigabitEthernet5/0/1
  Ten-GigabitEthernet5/0/2
  Ten-GigabitEthernet7/0/1
  Ten-GigabitEthernet7/0/2
MAD ARP disabled.
MAD enabled aggregation port:
  Bridge-Aggregation1
MAD BFD disabled.
```

Kuvio 140. Testi 3 Member3 MAD-recovery

*Recovery*-tilan domainin VLAN-rajapinnat sekä porttikanavat ovat alhaalla, kuten kuviossa 141 näkyy. Porttikanava pysyisi toiminnassa, mikäli sen yksikin fyysinen portti olisi lisätty MAD:n ”*Excluded ports*” –listaan.

```
[Member1]dis int bri
The brief information of interface(s) under route mode:
Link: ADM - administratively down; Stby - standby
Protocol: (s) - spoofing
Interface          Link Protocol Main IP          Description
M-GEO/0/0          DOWN DOWN          --
NULL0              DOWN UP(s)         --
Vlan1               DOWN DOWN          --
Vlan10              DOWN DOWN          192.168.10.10    Hallinta-VLAN
Vlan30              DOWN DOWN          192.168.30.1     DATA-VLAN
Vlan40              DOWN DOWN          192.168.40.1     SRV-VLAN

The brief information of interface(s) under bridge mode:
Link: ADM - administratively down; Stby - standby
Speed or Duplex: (a)/A - auto; H - half; F - full
Type: A - access; T - trunk; H - hybrid
Interface          Link Speed Duplex Type PVID Description
BAGG1              DOWN auto A      T    20  MAD-link
BAGG2              DOWN auto A      T    1   Link-to-Access-sw1
BAGG3              DOWN auto A      T    1   Link-to-Access-sw2
BAGG4              DOWN auto A      T    1   Link-to-Access-sw3
```

Kuvio 141. Testi 3 Recovery-domain rajapinnat

Bridge MAC –osoite oli määritetty vaihtumaan 6 minuutin jälkeen. Kuviossa 142 näkyy, kuinka rinnakkaisen domainin Bridge MAC –osoite muodostetaan nyt Member3:n MAC-osoitteesta. Kuviosta näkyy myös, kuinka Member1 ei kuulu domainiin, jonka master-kytkimenä toimii Member3.

```
<Member1>dis irf
Switch  Role   Priority CPU-Mac          Description
*+3     Master  25      cc3e-5f75-9f79   Laitetila1
  5     Slave  20      cc3e-5f78-277b   DR-site
  7     Slave  15      cc3e-5f75-97d8   Laitetila2
-----

* indicates the device is the master.
+ indicates the device through which the user logs in.

The Bridge MAC of the IRF is: cc3e-5f75-9f78
Auto upgrade           : yes
Mac persistent          : 6 min
Domain ID               : 10
<Member1>dis irf topo
Topology Info
-----
Switch  IRF-Port1  IRF-Port2  Link  neighbor  Link  neighbor  Belong To
7        DOWN    --         UP     5         UP     3         cc3e-5f75-9f79
5        UP      7          UP     3         DOWN   --         cc3e-5f75-9f79
3        UP      5          DOWN   --         --         cc3e-5f75-9f79
```

Kuvio 142. Testi 3 recovery-domainin vaihtunut Bridge MAC –osoite

Member1:n tilanne on esitetty kuviossa 143. Domainissa on edelleen sama Bridge MAC –osoite.

```
<Member1>dis irf
Switch  Role    Priority  CPU-Mac          Description
*+1    Master    30       cc3e-5f75-9895   Palvelinhuone
-----

* indicates the device is the master.
+ indicates the device through which the user logs in.

The Bridge MAC of the IRF is: cc3e-5f75-9894
Auto upgrade           : yes
Mac persistent         : 6 min
Domain ID               : 10
```

Kuvio 143. Testi 3 Member1:n aktiivinen IRF-domain

## 6.6.2 IRF split - työasemien tulokset

WS1:n ja WS3:n väliseen liikennevirtaan IRF-topologian muuttuminen ei aiheuttanut häiriötä, kuten kuviosta 144 voidaan nähdä. ICMP-paketeista yksikään ei ole hävinnyt 120 sekunnin aikana, mikä on ”*local first*” –kuormanjaon ansiota.

```
ws1@linux-ws1:~$ sudo ping 192.168.30.13 -i 0.01 -w 120 -q
PING 192.168.30.13 (192.168.30.13) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.30.13 ping statistics ---
10000 packets transmitted, 10000 received, 0% packet loss, time 11
9989ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.124/0.169/0.226/0.034 ms
```

Kuvio 144. Testi 3 WS1 ping-tulokset

Kuviosta 145 taas nähdään, että liikennevirta WS2:n ja WS4:n välillä katkesi heti, kun toinen IRF-domain siirtyi recovery-tilaan ja Access-sw2:lla ei ollut enää aktiivisia linkkejä runkokerrokseen.

```
ws2@Linux-ws2:~$ sudo ping 192.168.40.14 -i 0.01 -w 120 -q
PING 192.168.40.14 (192.168.40.14) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.40.14 ping statistics ---
10001 packets transmitted, 2299 received, 77% packet loss, time 11
9998ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.151/0.156/0.185/0.011 ms
```

Kuvio 145. Testi 3 WS2 ping-tulokset



### 6.6.3 IRF merge

*IRF merge* –tilanteen vaikutus liikennevirtaan havainnollistetaan suorittamalla jälleen edellä mainitut ping-komennot yhtäaikaaisesti työasemilla WS1 ja WS2 (kyselyjen kesto 200 sekuntia), ja samaan aikaan kytketään Member1:n molemmat IRF-portit uudestaan.

Kuviosta 146 nähdään, kuinka IRF-domain sisältää taas kaikki neljä jäsenkytkintä ja Bridge MAC –osoite on muodostettu Member1:n MAC-osoitteesta.

```
<Member1>dis irf
Switch  Role    Priority CPU-Mac      Description
*+1    Master    30      cc3e-5f75-9895 Palvelinhuone
  3     Slave    25      cc3e-5f75-9f79 Laitetila1
  5     Slave    20      cc3e-5f78-277b DR-site
  7     Slave    15      cc3e-5f75-97d8 Laitetila2
-----

* indicates the device is the master.
+ indicates the device through which the user logs in.

The Bridge MAC of the IRF is: cc3e-5f75-9894
Auto upgrade           : yes
Mac persistent         : 6 min
Domain ID              : 10
<Member1>dis irf topo
                        Topology Info
-----
Switch  Link  IRF-Port1 neighbor  Link  IRF-Port2 neighbor  Belong To
1       UP   3          7          UP   7          5          cc3e-5f75-9895
3       UP   5          1          UP   1          3          cc3e-5f75-9895
5       UP   7          3          UP   3          5          cc3e-5f75-9895
7       UP   1          5          UP   5          1          cc3e-5f75-9895
```

Kuvio 146. Testi 3 IRF merge

Hetki *IRF merge* –tilanteen jälkeen Member1:llä suoritettu komento ”*display cpu-usage*” näyttää, että viimeisten viiden minuutin aikana Member3:n, Member5:n ja Member7:n CPU:n käyttöaste on hetken verran ollut 0%, sillä kyseiset kytkimet käynnistyivät uudestaan liittyäkseen Member1:n IRF-domainiin. Muutoin CPU:n kuormissa ei ole havaittavissa selvää piikkiä. Tämä on esitetty kuviossa 147.

```

<Member1>dis cpu
Slot 1 CPU usage:
    6% in last 5 seconds
    6% in last 1 minute
    7% in last 5 minutes

Slot 3 CPU usage:
    6% in last 5 seconds
    6% in last 1 minute
    0% in last 5 minutes

Slot 5 CPU usage:
    6% in last 5 seconds
    6% in last 1 minute
    0% in last 5 minutes

Slot 7 CPU usage:
    6% in last 5 seconds
    6% in last 1 minute
    0% in last 5 minutes

```

Kuvio 147. Testi 3 CPU:n käyttöaste *IRF mergen* jälkeen

#### 6.6.4 IRF merge - työasemien tulokset

Työasemalla WS1 suoritettu ping-kysely ei häiriintynyt IRF-domainien yhdistymisestä, kuten kuviosta 148 voidaan havaita. Yksikään ICMP-paketti ei hävinnyt 200 sekunnin aikana ja viive pysyi alhaisena.

```

ws1@linux-ws1:~$ sudo ping 192.168.30.13 -i 0.01 -w 200 -q
PING 192.168.30.13 (192.168.30.13) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.30.13 ping statistics ---
16667 packets transmitted, 16667 received, 0% packet loss, time 19
9988ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.123/0.171/0.612/0.036 ms

```

Kuvio 148. Testi 3 WS1:n ping-tulos

Kuviossa 149 nähdään työasema WS2:n ping-tulokset, joiden mukaan 200 sekunnin aikana ping-paketeista ehti hukkuu 92% ennen kuin työasema WS4 voidaan tavoittaa verkon yli. Vaikka IRF-kytkinten uudelleenkäynnistymisen vaatima aika oli tiedossa, tämä tulos oli kuitenkin riippuvainen siitä, kuinka nopeasti IRF-linkkien kaapelit kytkettiin takaisin portteihin. Näin ollen mittaus ei kerro oikeaa tulosta pakettihävikistä, vaan ainoastaan todistaa yhteyksien palautumisen 200 sekunnin aikana.

```
ws2@Linux-ws2:~$ sudo ping 192.168.40.14 -i 0.01 -w 200 -q
PING 192.168.40.14 (192.168.40.14) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.40.14 ping statistics ---
16659 packets transmitted, 1239 received, 92% packet loss, time 19
9989ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.147/0.162/6.002/0.166 ms
```

Kuvio 149. Testi 3 WS2:n ping-tulos

Mikäli tämä testi olisi suoritettu Comware7-kytkimillä, olisi MAD jättänyt Member3:n, Member5:n ja Member7:n muodostaman domainin aktiiviseksi, vaikka Member1:llä oli pienempi Active-ID. MAD TLV –viestien ”*activemember*”-kentän arvo olisi ollut suurempi Member3:n hallitsemassa domainissa, joten Member1 olisi siirtynyt *recovery*-tilaan. (HP 5920 & 5900 Switch Series IRF Configuration Guide 2013, 8.)

Testi osoittaa LACP MAD:n heikkouden Comware5:ssa ja tarpeen päivittää kytkimet käyttämään Comware7:aa heti, kun kyseisen käyttöjärjestelmän tuki ilmestyy HP:n 5820-sarjaan.

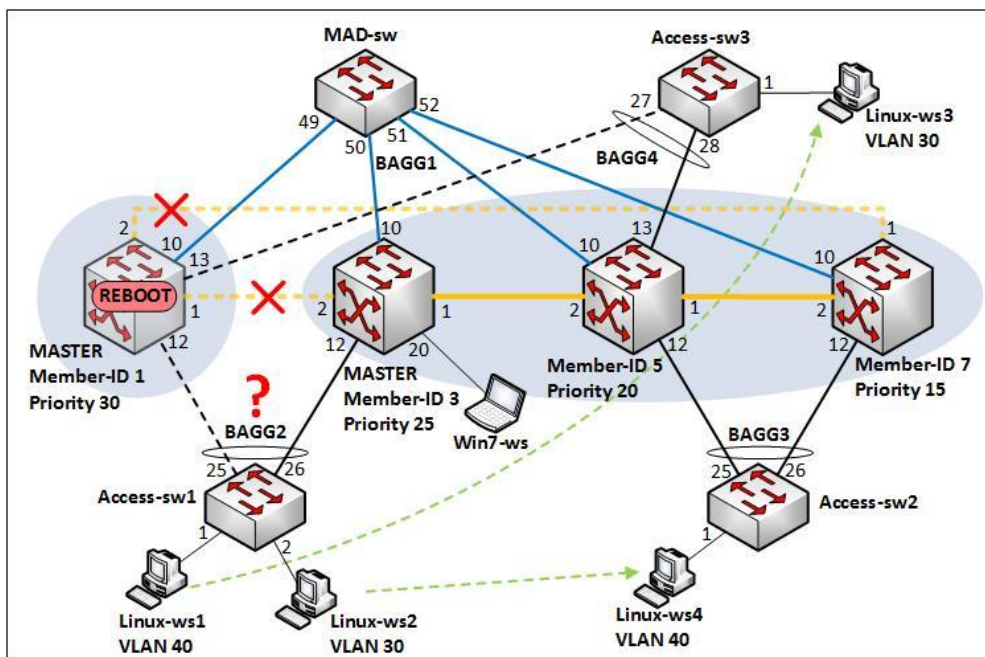
## 6.7 Testi 4

### 6.7.1 Testin vaiheet

Testi 4:n ympäristö on sama kuin edellisessä vaiheessa, mutta nyt tarkoituksena on käynnistää uudelleen master-kytkin eli Member1, ja tutkia tapahtuman vaikutusta liikennevirtoihin. Master-kytkimen katoaminen IRF-domainista aiheuttaa master-vaalit, jolloin priority-arvojen mukaan Member3 valitaan uudeksi master-kytkimeksi.

Uudelleenkäynnistys kestää noin 165 sekuntia, ja Member1:n palattua toimintaan se liittyy takaisin IRF-domainiin. Siitä ei kuitenkaan tule master-kytkintä, koska vaalien ensimmäinen sääntö pitää aina IRF-domainin nykyisen master-kytkimen (tässä tapauksessa Member3:n) roolissaan, vaikka uudella kytkimellä olisi korkeampi priority-arvo.

Testin fyysinen topologia, ping-kyselyjen liikennevirrat ja uudelleenkäynnistysten aiheuttama *IRF split* ovat esitetty kuviossa 150.



Kuvio 150. Testi 4

Testissä käytettävien ping-komentojen kestoksi määritetään 300 sekuntia ja intervaliksi 0.01 sekuntia. IRF-domain määritettiin säilyttämään sama Bridge MAC –osoite pysyvästi, vaikka master-kytkin vaihtuukin. Tämä suoritettiin komennolla:

```
[Member1] irf mac-address persistent always
```

Näin ollen esimerkiksi Access-sw1:n näkökulmasta IRF-kytkimen MAC-osoite säilyy koko testin ajan samana, vaikka Member1 onkin hetken aikaa pois toiminnasta.

Testiä aloitettaessa IRF-domain on kuvion 151 mukainen. Kuviosta voidaan nähdä Member1:n toimivan master-kytkimenä, ja Bridge MAC –osoitteen olevan Member1:n omasta johdettu.



```

<Member1>dis irf
Switch  Role    Priority  CPU-Mac      Description
*1      Master   30       cc3e-5f75-9895 Palvelinhuone
+3      Slave    25       cc3e-5f75-9f79 Laitetila1
5       Slave    20       cc3e-5f78-277b DR-site
7       Slave    15       cc3e-5f75-97d8 Laitetila2
-----

* indicates the device is the master.
+ indicates the device through which the user logs in.

The Bridge MAC of the IRF is: cc3e-5f75-9894
Auto upgrade           : yes
Mac persistent         : 6 min
Domain ID              : 10
<Member1>dis irf topo
                        Topology Info
-----
Switch  IRF-Port1  IRF-Port2  Link  neighbor  Link  neighbor  Belong To
1       UP         3          UP    7          7       1          cc3e-5f75-9895
3       UP         5          UP    1          3       1          cc3e-5f75-9895
5       UP         7          UP    3          5       3          cc3e-5f75-9895
7       UP         1          UP    5          7       5          cc3e-5f75-9895

```

Kuvio 151. Testi 4 IRF-ympäristö ennen uudelleenkäynnistystä

Aluksi suoritetaan ping-komennot toimivassa ympäristössä työasemilla WS1 ja WS2.

Kuvioissa 152 on esitetty WS1:n tulos, jossa yksikään ICMP-paketti ei ole hävinnyt 300 sekunnin aikana.

```

ws1@linux-ws1:~$ sudo ping 192.168.30.13 -i 0.01 -w 300 -q
PING 192.168.30.13 (192.168.30.13) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.30.13 ping statistics ---
25004 packets transmitted, 25004 received, 0% packet loss, time 29
9998ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.123/0.162/0.229/0.030 ms

```

Kuvio 152. Testi 4 normaalitilanteen ping-tulos WS1:llä

Kuviossa 153 on WS2:n tulos, eikä tässäkään liikennevirrassa ole yhtään pakettia hävinnyt.

```

ws2@Linux-ws2:~$ sudo ping 192.168.40.14 -i 0.01 -w 300 -q
PING 192.168.40.14 (192.168.40.14) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.40.14 ping statistics ---
25001 packets transmitted, 25001 received, 0% packet loss, time 29
9995ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.146/0.157/0.225/0.018 ms

```

Kuvio 153. Testi 4 normaalitilanteen ping-tulos WS2:lla

Ympäristön toimivuuden todentamisen jälkeen voidaan aloittaa testi, eli suorittamalla samat ping-komennot työasemilla ja välittömästi sen jälkeen käynnistää Member1 uudelleen.

Uudelleenkäynnistytksen aikana Member3 voittaa master-vaalit. Kuviossa 154 on esitetty, kuinka MAD-sw vastaanottaa portista 50 Member3:n MAD TLV –viestin, jossa se ilmoittaa olevansa domainin 10 master-kytkin. Bridge MAC –osoite säilyy samana. MAD-sw yrittää välittää ilmoituksen Member1:lle porttiin 49, mutta se ei onnistu uudelleenkäynnistämisen ollessa meneillään. Sen sijaan portteihin 51 ja 52 viestin välittäminen onnistuu, josta merkinä *loopcounter*-kentän arvo ”1”.

```
0001:01:58:36.71 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 50
0001:01:58:36.77 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0001:01:58:36.85 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 50 with
    type=100, length=24, srcActId=3, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 0, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0

0001:01:58:37.10 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP MAD TLV reforwarded on port 49

0001:01:58:37.17 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU Tx on port 51
0001:01:58:37.24 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU with MAD TLV Tx on port 51
0001:01:58:37.33 lacp mLACPCtrl:LACP: MAD TLV Tx on port 51 with type=100,
    length=24, srcActId=3, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 1, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0
0001:01:58:37.57 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP MAD TLV reforwarded on port 51

0001:01:58:37.66 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU Tx on port 52
0001:01:58:37.73 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU with MAD TLV Tx on port 52
0001:01:58:37.81 lacp mLACPCtrl:LACP: MAD TLV Tx on port 52 with type=100,
    length=24, srcActId=3, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 1, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0
0001:01:58:38.05 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP MAD TLV reforwarded on port 52
```

Kuvio 154. Testi 4 Member1 reboot ja master-vaalit

Kun Member1 on käynnistynyt uudestaan, se vaihtaa tietoja muiden jäsenkytkinten kanssa MAD-kytkimen kautta, jotta se voisi liittyä IRF-domainiin. Kuviossa 155 näkyy, kuinka MAD-sw vastaanottaa kaksi kertaa Member1:n viestejä portista 49, ja lähettää vastauksen. Sen jälkeen Member1 lähettää MAD TLV –viestin, jossa se kertoo sijaitsevänsä IRF-domainissa 10, jonka Active-ID on ”3” (sillä Member3 pysyy master-kytkimenä).

```

0001:02:01:16.01 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 49
0001:02:01:16.08 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 49
0001:02:01:16.45 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU Tx on port 49
0001:02:01:16.52 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 49
0001:02:01:16.59 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0001:02:01:16.67 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 49 with
    type=100, length=24, srcActId=3, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0
    loopcounter = 0, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0

```

Kuvio 155. Testi 4 Member1 liittyy takaisin IRF-domainiin

Kuviossa 156 on esitetty IRF-domainin tiedot uudelleenkäynnistyksen jälkeen. Kuviossa nähdään, kuinka Member3 toimii master-kytkimenä, mutta Bridge MAC – osoitteena käytetään silti vielä Member1:n MAC-osoitetta.

```

<Member1>dis irf
Switch  Role    Priority  CPU-Mac          Description
  1      Slave    30       cc3e-5f75-9895   Palvelinhuone
*+3      Master    25       cc3e-5f75-9f79   Laitetila1
  5      Slave    20       cc3e-5f78-277b   DR-site
  7      Slave    15       cc3e-5f75-97d8   Laitetila2
-----

* indicates the device is the master.
+ indicates the device through which the user logs in.

The Bridge MAC of the IRF is: cc3e-5f75-9894
Auto upgrade           : yes
Mac persistent         : 6 min
Domain ID              : 10
<Member1>dis irf topo
                        Topology Info
-----
                IRF-Port1          IRF-Port2
Switch  Link    neighbor  Link    neighbor  Belong To
  3      UP      5         UP      1         cc3e-5f75-9f79
  5      UP      7         UP      3         cc3e-5f75-9f79
  7      UP      1         UP      5         cc3e-5f75-9f79
  1      UP      3         UP      7         cc3e-5f75-9f79

```

Kuvio 156. Testi 3 tilanne heti IRF mergen jälkeen

## 6.7.2 Työasemien tulokset

Kuviossa 157 on esitetty ping-kyselyn tulos työasemalla WS1. Siitä voidaan havaita, että Member1:n katoaminen IRF-domainista, master-vaalit ja ”*local first*” – kuormanjako (Bridge MAC –osoitteen säilymisestä huolimatta) aiheuttivat 49:n paketin hävikin 300 sekunnin aikana. WS1:n tuottaman liikenteen käyttämä fyysinen portti vaihtuu kaksi kertaa Access-sw1:n porttien 25 ja 26 välillä, koska ensin Member1 häviää domainista ja hetken päästä liittyy siihen takaisin. Tulos kertoo sen pakettihävikin määrän, joka aiheutuu käyttämällä ”*local first*” –kuormanjakoa. Prosentuaali-

sesti pakettihävikki on kuitenkin 0%. Tulosta voi verrata testi 5:n tuloksiin, joissa havaitaan IRF:n Bridge MAC-osoitteen muuttumisen ja ”*link-aggregation traffic redirection*” -kuormanjaon vaikutus liikenteeseen.

```
ws1@linux-ws1:~$ sudo ping 192.168.30.13 -i 0.01 -w 300 -q
PING 192.168.30.13 (192.168.30.13) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.30.13 ping statistics ---
25000 packets transmitted, 24961 received, 0% packet loss, time 29
9993ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.126/0.166/0.220/0.034 ms
```

Kuvio 157. Testi 4 ping-tulos WS1:llä

Kuviossa 158 on esitetty ping-kyselyn tulos työasema WS2:lla. Vikatilanne aiheutti ainoastaan 7 paketin häviämisen 300 sekunnin aikana. Tuloksessa ilmoitettu ”*mdev*” eli viiveen vaihtelu oli jopa pienempi kuin toimivassa ympäristössä suoritettuna. Access-sw1:n porttikanava Trk1 on todennäköisesti jakanut liikennevirran kulkemaan kohti IRF-kytkintä fyysisestä portista 26, jolloin Member1:n katoaminen ei ole suoraan vaikuttanut liikenteenvälitykseen.

```
ws2@Linux-ws2:~$ sudo ping 192.168.40.14 -i 0.01 -w 300 -q
PING 192.168.40.14 (192.168.40.14) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.40.14 ping statistics ---
24998 packets transmitted, 24991 received, 0% packet loss, time 29
9999ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.132/0.156/0.191/0.012 ms
```

Kuvio 158. Testi 4 ping-tulos WS2:lla

## 6.8 Testi 5

### 6.8.1 Testin vaiheet

Edellisen testin jälkeen Member3 toimii IRF-domainin master-kytkimenä, ja sen MAC-osoitetta käytetään domainin Bridge MAC -osoitteena. Tässä testissä on tarkoitus palauttaa Member1 takaisin master-kytkimeksi, mikä onnistuu käynnistämällä Member3 uudelleen, jolloin priority-arvojen perusteella Member1 valitaan master-kytkimeksi. Samaan aikaan lähetetään jatkuvaa ping-kyselyä työasemilta WS1 ja WS2

työasemille WS3 ja WS4, ja tutkitaan vikatilanteen vaikutusta liikennevirtoihin. Ping-kyselyjen kesto oli 300 sekuntia ja intervalli 0.01 sekuntia.

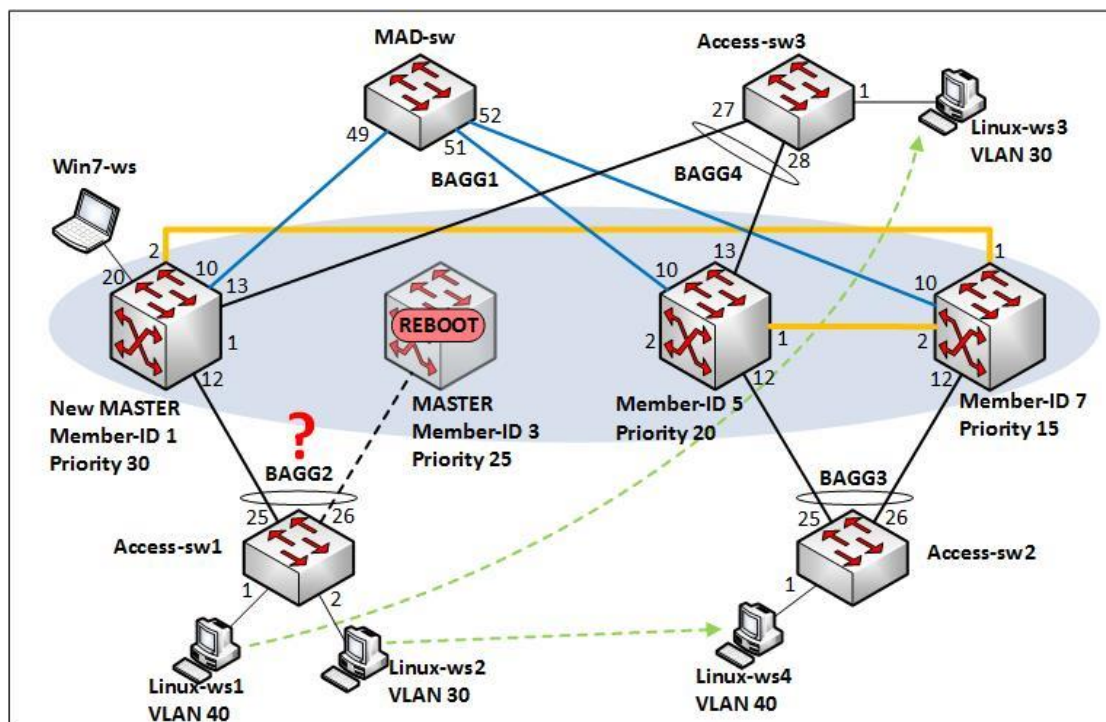
IRF-domain määritetään vaihtamaan Bridge MAC –osoite välittömästi *IRF splitin* tapahtuessa. Tämä onnistuu komennolla:

*[Member1] undo mac-address persistent*

Testissä otetaan käyttöön ”*link-aggregation traffic redirection*” –ominaisuus, jolloin liikenne jaetaan tasaisesti porttikanavien fyysisten porttien kesken, ja ”*local first*”-kuormanjako poistuu käytöstä. Tämä onnistuu komennolla:

*[Member1] link-aggregation lacp traffic-redirection-notification enable*

Testin fyysinen topologia, tarkoitus ja ping-kyselyjen liikennevirrat ovat havainnollistettu kuviossa 159.



Kuvio 159. Testi 5

Testi aloitettiin suorittamalla ping-kyselyt yhtä aikaa työasemilla WS1 ja WS2, ja välittömästi sen jälkeen Member3 käynnistettiin uudestaan. Tämä aiheutti master-vaalit



jäljelle jäävien jäsenkytkinten kesken, jotka Member1 voitti suurimman priority-arvonsa ansiosta.

Member3 käynnistyessä uudestaan master-vaalien aikana, MAD-sw vastaanottaa portista 49 Member1:n MAD TLV –viestin, jossa se kertoo olevansa domainin 10 master-kytkin, ja Bridge MAC –osoite on vaihtunut Member1:n mukaiseksi. Tämä on esitetty kuvion 160 ylimmässä osiossa. Kuviosta näkyy myös, kuinka MAD-sw yrittää välittää viestiä porttiin 50, mikä ei onnistu Member3:n vasta käynnistyessä uudelleen. Välitys onnistuu portteihin 51 ja 52, jolloin Member5 ja Member7 saavat tiedon siitä, että Member1 on domainin master-kytkin. Tilanne on yhtenevä edellisen testin kanssa, master-kytkimet vaan vaihtuvat päinvastoin.

```
0001:04:24:42.80 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 49
0001:04:24:42.86 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0001:04:24:42.94 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 49 with
    type=100, length=24, srcActId=1, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 0, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0

0001:04:24:43.18 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP MAD TLV reforwarded on port 50

0001:04:24:43.26 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU Tx on port 51
0001:04:24:43.34 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU with MAD TLV Tx on port 51
0001:04:24:43.42 lacp mLACPCtrl:LACP: MAD TLV Tx on port 51 with type=100,
    length=24, srcActId=1, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 1, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0
0001:04:24:43.66 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP MAD TLV reforwarded on port 51

0001:04:24:43.74 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU Tx on port 52
0001:04:24:43.81 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU with MAD TLV Tx on port 52
0001:04:24:43.89 lacp mLACPCtrl:LACP: MAD TLV Tx on port 52 with type=100,
    length=24, srcActId=1, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 1, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0
0001:04:24:44.13 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP MAD TLV reforwarded on port 52
```

Kuvio 160. Testi 5 Member3 reboot ja master-vaalit

Kun Member3 on käynnistynyt uudestaan, sen täytyy liittyä takaisin domainiin vaihtamalla ensin MAD-tietoja muiden jäsenkytkinten kanssa. Kuviossa 161 näkyy, kuinka MAD-sw vastaanottaa ensin kaksi kertaa MAD-kyselyjä portista 50, eli Member3:lta. Sitten se lähettää IRF-domainin antaman vastauksen takaisin porttiin 50. Tämän jälkeen Member3 lähettää MAD-sw:n porttiin 50 MAD TLV –viestin, jossa se kertoo liittyneensä domainiin 10, jonka Active-ID on 1 (eli Member1 toimii master-kytkimenä).

```

0001:04:27:22.47 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 50
0001:04:27:22.54 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 50
0001:04:27:22.97 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP data BPDU Tx on port 50
0001:04:27:23.04 lacp mLACPCtrl:LACP: Data BPDU Rx. on port 50
0001:04:27:23.11 lacp mLACPCtrl:LACP: Received LACP PDU LENGTH = 150
0001:04:27:23.19 lacp mLACPCtrl:LACP: LACP Extended TLV Rx on port 50 with
    type=100, length=24, srcActId=1, bridgeMac = cc:3e:5f:75:98:94, packetType=0,
    loopcounter = 0, dstActId = 0, domainId = 10, pktId = 0, activemember = 0

```

Kuvio 161. Testi 5 Member3 liittyy takaisin IRF-domainiin

Nyt IRF-domain on jälleen kokonainen. Kuviosta 162 nähdään, Member1 toimii master-kytkimenä ja siitä muodostetaan domainin Bridge MAC –osoite.

```

<Member1>dis irf
Switch  Role  Priority  CPU-Mac          Description
*+1     Master  30       cc3e-5f75-9895   Palvelinhuone
  3     Slave  25       cc3e-5f75-9f79   Laitetilal
  5     Slave  20       cc3e-5f78-277b   DR-site
  7     Slave  15       cc3e-5f75-97d8   Laitetila2
-----

* indicates the device is the master.
+ indicates the device through which the user logs in.

The Bridge MAC of the IRF is: cc3e-5f75-9894
Auto upgrade           : yes
Mac persistent         : no
Domain ID              : 10

```

Kuvio 162. Testi 5 IRF merge tapahtunut

## 6.8.2 Työasemien tulokset

Työasemalla WS1 suoritettun ping-kyselyn tulos on esitetty kuviossa 163. Siitä voidaan havaita, että yhtäkään ICMP-pakettia ei ole hävinnyt 300 sekunnin aikana.

Member1 ja Member3 eivät muodosta keskenään rengastopologiaa ja Member1:stä löytyi suoraan linkki kohti Access-sw3:sta, joten ”*link-aggregation traffic redirect*” – ominaisuus toimi oikein BAGG2-porttikanavan kohdalla. Näin ollen pakettihävikkiä ei syntynyt, ja kyseisen kuormanjaon voi olettaa toimivan ketjutopologiassa.

```
ws1@linux-ws1:~$ sudo ping 192.168.30.13 -i 0.01 -w 300 -q
PING 192.168.30.13 (192.168.30.13) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.30.13 ping statistics ---
25001 packets transmitted, 25001 received, 0% packet loss, time 29
9994ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.123/0.166/0.217/0.036 ms
```

Kuvio 163. Testi 5 WS1:n ping-kyselyn tulos

Kuviossa 164 on esitetty työasemalla WS2 suoritetun ping-kyselyn tulos. Kuviosta selviää, että 364 ICMP-pakettia on hävinnyt 300 sekunnin aikana, jolloin pakettihävikki on 1%. Pakettihävikki on huomattavasti suurempi, kuin esimerkiksi edellisen testin aikana samanlaisessa tilanteessa käyttäen ”*local first*” –kuormanjakoa. Vaikka porttikanavan BAGG2 toisessa päässä Member1 ja Member3 ovat keskenään ketjutologiassa, kyselyn kohde WS4 sijaitsee Member5:n ja Member7:n takana. Kohde saavutetaan rengastopologian ansiosta, jolloin ”link-aggregation traffic redirect” – ominaisuus aiheuttaa pakettihävikkiä. Testin tulosta voi verrata edellisen testin tuloksiin. Siitä voi päätellä, että ”*local first*” –kuormanjako on parempi vaihtoehto neljän IRF-kytkimen rengastopologiassa.

```
ws2@Linux-ws2:~$ sudo ping 192.168.40.14 -i 0.01 -w 300 -q
PING 192.168.40.14 (192.168.40.14) 56(84) bytes of data.

--- 192.168.40.14 ping statistics ---
25000 packets transmitted, 24636 received, 1% packet loss, time 29
9989ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.147/0.157/0.235/0.012 ms
```

Kuvio 164. Testi 5 WS2:n ping-kyselyn tulos



## 7 YHTEENVETO

### 7.1 Tavoitteiden saavuttaminen

Syksyn kuluessa vaihdettiin yhteensä 21:en jakamon liityntäkytkimet uudempiin ja tehostettiin kaapelointia. Vaihdosten tuloksena myös liityntäkytkinten lukumäärä laski 70:stä 60:een, ja määrä tulee vielä laskemaan verkkouudistuksen aikana tehtävien uusien kuitu- ja kuparivetojen myötä. Vaihdetujen kytkimien konfiguraatiot yhdenmukaistettiin ja päivitettiin vastaamaan tulevan verkkoympäristön tarpeita. Konfiguraatiot dokumentoitiin ja uudet kytkimet tullaan konfiguroimaan yhtenevästi. Lisäksi kytkinten porttimäärän käyttöaste parantui huomattavasti, mikä tuo säästöjä yritykselle ja edesauttaa verkkouudistusta. HP:n porttivaihto-kampanjan ansiosta vanhoista kytkimistä saatiin korvauksia tilattaessa uusia kytkimiä. Samalla kuitu- ja kuparikaapelointia sekä rasiamerkintöjä dokumentoitiin, jolloin toimeksiantajalle jäi selkeämpi kuva nykyisestä verkosta.

Niin kartoitusvaiheen kuin suunnitteluvaiheenkin ansiosta toimeksiantaja säästi kustannuksissa, sillä kolmannen osapuolen konsultoinnin tapahtuessa niin sanottu pohjatyö oli jo tehty ja itse asiaan päästiin nopeasti.

Tuleva verkkoympäristö vastaa opinnäytetyön tavoitteissa esitettyjä vaatimuksia. Työn käytännön toteutus ja testiympäristössä suoritettut testaukset osoittivat työnantajalle, kuinka uudelle verkolle asetetut tavoitteet täyttyivät. Opinnäytetyön kirjallinen osuus toimii ohjeena IRF-ympäristön konfigurointiin ja on samalla yleispätevä kartoitus yrityksen nykyisestä verkosta ja tulevaisuuden tavoitteista sen verran, kuin julkiseen opinnäytetyöhön voi kirjoittaa.

## 7.2 PPDIOO

Opinnäytetyö kulki johdonmukaisesti PPDIOO:n ensimmäisten neljän vaiheen mukaan, mikä välittyy myös opinnäytetyöstä (taustatyö ei ole kirjattu). Testiympäristö toteuttamisen ja teknologioiden testaamisen voi sisällyttää ”*implementing*”-vaiheeseen, vaikka tuotantoympäristöstä ei ollutkaan vielä kyse. Uusien verkkolaitteiden vienti tuotantoon ja jatkotoimenpiteet kuuluvat PPDIOO:n *Operate*- ja *Optimize* -vaiheisiin, joita opinnäytetyöhön ei ehditty suorittaa.

Toimeksiantajalle opinnäytetyö tuotti säästöjä jokaisen työhön sisältyneen PPDIOO:n vaiheen kautta. Verkon kartoitus ja valmistelu tuleviin muutoksiin veivät yllättävän paljon aikaa, sillä samalla suoritettiin dokumentointia ja tehostettiin kaapelointia. Suunnitteluun sisältyi suuri määrä tiedonhankintaa ja eri vaihtoehtojen harkintaa. Uuden verkkoympäristön toteutuksen tuloksien lisäksi ilmeni mm. eräs komponenttivika, jonka selvittäminen ja korjaaminen säästivät jälleen toimeksiantajan resursseja.

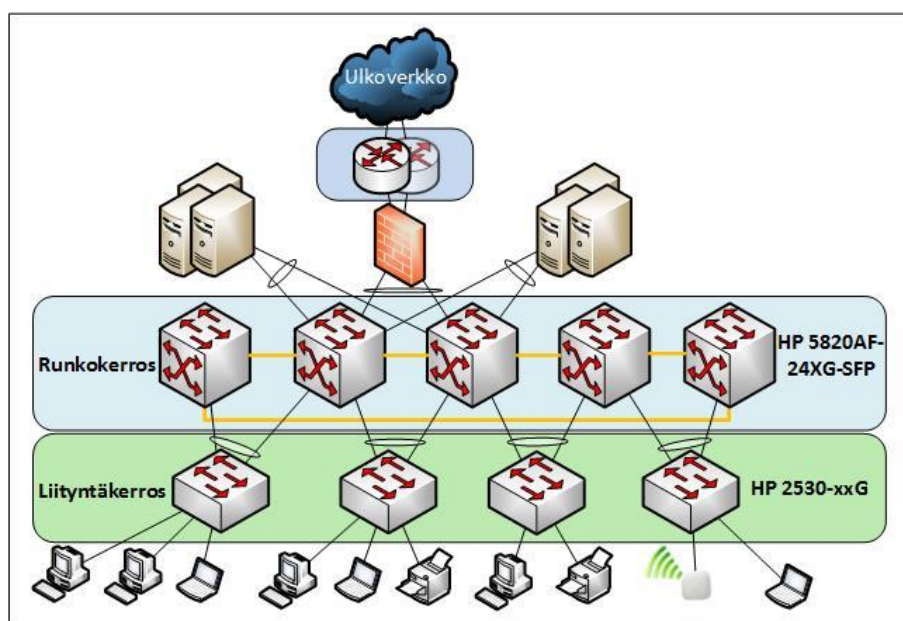
## 7.3 Tulevaisuudessa

Opinnäytetyö on vasta alkuvalmistelua verkkouudistukseen, joten tekemistä riittää vielä. Työssä ei esimerkiksi otettu kantaa tietoturva-asioihin ollenkaan, ja koko verkkoinfrastruktuurin dokumentointi vaatii päivittämistä jatkossakin.

Tulevaisuudessa toimeksiantaja voi määrittää verkkoon eri QoS-asetuksia ja koventaa IRF-ympäristön. Pienet tärkeät asiat, kuten Hallinta-VLAN-rajapinnan määrittäminen MAD:n *excluded*-rajapinnaksi, jäävät myös tehtäväksi ennen tuotantokäyttöä.

Salassapidon takia VLAN-järjestelyjen ja IP-aliverkkojen uudistaminen jäi kirjaamatta opinnäytetyöhön, mutta testiympäristö toimii yksinkertaisena kuvauksena niistäkin ja työn aikana toimeksiantajalle ilmeni opinnäytetyön kirjoittajan visio muutoksista yrityksen VLANeihin ja IP-osoitteisiin.

Kun uusi hierarkkinen verkkoympäristö on otettu käyttöön toimeksiantajan verkkoon, se tekee verkosta modulaarisen ja näin ollen mahdollistaa esimerkiksi fyysisen palomuurin käyttöönoton. Kuviossa 165 on esitetty looginen kuva siitä, kun Palvelinhuoneeseen on tuotu toinen IRF-jäsenkytkin ja palomuuuri on uusittu fyysisiksi. Opinäytetyö on ensimmäinen askel kohti kyseistä verkkomallia, jota voi verrata luvussa 2 esitettyihin kuvioihin verkon nykyisestä tilasta.



Kuvio 165. Yrityksen looginen topologia tulevaisuudessa

Kun tietoverkko on saatu kuntoon, on toimeksiantajan hyvä ryhtyä koventamaan tietoturvaa. VLANien ja AD:n uudelleenjärjestely mahdollistaa Next Generation Firewall:n tehokkaan hyödyntämisen toimeksiantajan muuttuvassa verkkoympäristössä, jolloin tietoliikenne on paremmin segmentoitu ja se saadaan kiinni halutuissa verkko-laitteissa. Palomuurin HA-järjestelyt voidaan toteuttaa liikennevirtoihin nähden järkevästi, jolloin virtuaalisen palomuurin aiheuttama virtuaalipalvelinympäristön kuormitus laskee.

## 8 POHDINTA

Opinnäytetyö oli vaativa ja piti sisällään monia osa-alueita aina fyysisistä kuitukaapelivedoista virtualisointiin. Työn pohjustus alkoi jo kesätyösuhteen aikana, jolloin verkon kartoitus aloitettiin. Puuttuvan dokumentaation takia työ aloitettiin ns. pohjalta, eli kuitu- ja kuparivetojen tutkimisesta lähtien. Työn aikana sain hyvän kuvan nykyisestä verkosta, joskin paljon jäi vielä puuttumaan. Tämä vaihe sai ymmärtämään dokumentoinnin tärkeyden ja hahmottamaan etäisyysrajoitukset kaapelivetojen suunnittelussa. Vanhojen kaapelien hyödyntämisen ja kokonaan uusien kaapeleiden vetämisen välinen valinta oli myös tärkeä kysymys, sillä siinä täytyi ottaa huomioon rakennuksen lisäksi tulevaisuuden muutokset ja työtuntien määrä.

Verkon suunnittelu vaati erilaisiin materiaaleihin tutustumista, sillä yhtä koulun kurssia lukuun ottamatta kokemusta moisesta ei ollut. HP:n ja Juniperin suositukset sekä Ciscon CCDA/CCDP-materiaali herättivät paljon ajatuksia ja sai miettimään verkon kannalta asioita, jotka eivät opinnäytetyöhön sisältyneet. Etsiessäni parasta vaihtoehtoa Keskisen ympäristöön tutustuin myös itselleni ennestään tuntemattomiin ja vasta yleistymässä oleviin uusiin verkkotekniikoihin, kuten TRILL (*Transparent Interconnection of Lots of Links*) ja SDN (*Software-defined Networking*). Vaikka IRF:n kilpaileva tekniikka Ciscon VSS olikin konseptina ennestään tuttu, IRF:n suomat mahdollisuudet verkon fyysisessä ja loogisessa suunnittelussa olivat uusia. Asioiden sisäistäminen näkyi suunnitelmien parantueessa vaihe vaiheelta samalla, kun piti mielessä käytännön työn eikä pelkästään ajatellut asioita paperilla.

Koska verkkouudistuksessa on isot rahat kyseessä, väärrien päätösten pelko ilman kokemusta aiheesta oli koko ajan läsnä työn alkuvaiheessa. Hyvänä puolena asiassa oli se, että se pakotti miettimään monia erilaisia vaihtoehtoja. Yhteistyö laitevalmistajan sekä kolmannen osapuolen konsultin kanssa oli tietenkin välttämätöntä, minkä seurauksena ratkaisuille saatiin varmuus ja toimeksiantaja pystyi tekemään budjettiesityksen ylemmille päättävälle tahoille. Huojentavaa oli, että pitkän linjan ammattilaiset eivät tyrjänneet ajatuksiani suunnittelusta ja toteutuksesta, vaan lopullista suunnitelmaa ja laitevalintoja lähdettiin työstämään niiden pohjalta. Yhteistyö oli

hyvin mielenkiintoinen ja opettavainen kokemus, mikä taas muistutti siitä, kuinka monen vuoden työ on päästä vastavalmistuneesta oikeaksi ammattilaiseksi.

Opinnäytetyön ollessa käytäntöä oikeassa elämässä, oli alkuvaiheessa kirjallisen työn uhkana päätyä liian teoreettiseksi. Sen vuoksi pyrin suunnittelemaan myös käytännön toteutusta (luvussa 4.7). Opinnäytetyön kartoitus- ja suunnitteluosuudet kesti-  
vätkin syksystä 2013 tammikuuhun 2014, jolloin laitetilaukset tehtiin. Suoritusajan venyttäminen alkuvuoteen 2014 mahdollisti sen, että pystyin tekemään käytännön osuuden oikeilla laitteilla ja suunnittelemaan testiympäristön, joka kuvaisi tuotanto-  
ympäristöä. Näin myös toimeksiantaja sai opinnäytetyöstä suurimman hyödyn.

Vaikka opinnäytetyön suoritus aika kokonaisuudessaan olikin monta kuukautta, itse käytännön osuuden suorittamisen aikataulussa ei ollut tilaa ylimääräiselle. Testiympäristön toteuttamisessa tuotantoympäristön vaatimuksien mukaiseksi mielestäni onnistuin, ja vikatilanteiden luominen ja niiden aiheuttamien vaikutusten tarkastelu oli mielenkiintoista. Aikarajojen puitteissa ehdin testaamaan ne todennäköisimmät kuvitteleman poikkeustilanteet, joita verkkoon saattaisi ilmaantua.

Suunnittelin ympäristön toimimaan toimeksiantajan tarpeisiin nähden parhaimmalla tavalla tilanteessa, jolloin Comware7:n LACP MAD on käytössä. Comware5:n aiheuttamat riskit ovatkin havainnollistettu testissä 3. Mikäli Comware7-tuki olisi ehtinyt tulla 58xx-sarjan kytkimiin opinnäytetyön suorittamisen ajankohtana, olisi myös sen toiminta tullut todennettua testissä 3.

Lisäksi ympäristön toimintaa olisi ollut hyvä testata QoS-määrityksien avulla, jolloin esimerkiksi vaikutus VoIP-liikenteeseen ja videostreamiin olisi ollut havainnollistettavissa. Ajan loppuessa kesken ja koulun omistaman JDSU-liikennegeneraattorin ollessa varattu koko kevään ajan tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista. HP:n 5820-sarjan kytkinten tarjoama Super VLAN –ominaisuus olisi tuonut VLAN-suunnitteluun uudenlaisen lähestymistavan ja ominaisuus olisi mahdollisesti ollut sovellettavissa myös toimeksiantajan ympäristössä esimerkiksi työasema-VLANeihin. Tämä olisi ollut mielenkiintoista ottaa huomioon opinnäytetyössä, ja ehkä jopa suunnitella ja toteuttaa. Valitettavasti havaitsin kyseisen ominaisuuden liian myöhään enkä ehtinyt paneutua

asiaan riittävästi. Tulevaisuuden kannalta myös ISSU-käyttäjärjestelmäpäivitys olisi ollut hyvä testata, sillä kytkimien päivitys on edessä ennen kuin IRF-kytkimet viedään tuotantoympäristöön.

Aikarajan ollessa tiukka, jäi testivaiheessa suorittamatta vielä muutamia todennuksia. Lisäksi työhön kirjatut testit ovat ikään kuin harjoituskiirroksia, joiden uudelleen suorittaminen olisi saanut aikaan johdonmukaisempia tuloksia. Esimerkiksi joitain kuvankaappauksia jäi ottamatta testien eri vaiheissa, minkä seurauksena en saanut testien kirjalliseen rakenteeseen yhteistä ja tarpeeksi virtaviivaista kaavaa.

Opinnäytetyön aiheen ajankohtaisuus ilmeni siten, että en onnistunut löytämään internetistä minkäänlaista materiaalia MAD-viestien tulkinnasta tai attribuuteista. Debug-viestien tulkitseminen jäi siis sen varaan, kuinka hyvin pystyin soveltamaan IRF- ja MAD-tekniikoiden yleismaailmallista teoriaa mittaviin määriin sekä IRF-kytkimen että MAD-välittäjäkytkimen debug-materiaalia. Koska en voinut verrata testiympäristön tuloksia mihinkään faktatietoon periaatteella ”niin sen olisi pitänyt toimia”, tulee opinnäytetyöhön kirjattujen MAD-viestien analysointi ottaa kirjoittajan näkemyksenä asiaan. Vasta laitevalmistajan mahdollisesti myöhemmin julkaisemat viralliset materiaalit IRF/MAD-toiminnasta protokollatasolla ovat varmasti päteviä lähteitä. Debug-viestien analysoinnissa oli siis läsnä virheiden mahdollisuus. Wireshark-liikenneanalysaattorilla saatuja tuloksia en kirjannut opinnäytetyöhön yksinkertaisesti sen takia, että ilman mitään materiaalia en voinut varmasti tietää tulkintojeni todenperäisyyttä.

Opinnäytetyössä ei tule esille se eri osa-alueiden vaatima työmäärä, joka tarvitaan Veljekset Keskisen kokoisen yrityksen verkkouudistuksessa. Työ onkin ikään kuin jäävuoren huippu, ja sen rajaaminen tapahtui ikään kuin lennosta, sillä syvempi tekniikoiden, suunnittelun ja toteutuksen kirjaaminen työhön olisi räjäyttänyt opinnäytetyön laajuuden. Työn olisi toki voinut rajata koskemaan esimerkiksi pelkästään IRF:n ja MAD:n toteuttamista puhtaasti testiympäristössä, jolloin testivaiheeseen ja tuloksien kirjaamiseen olisi voinut käyttää enemmän aikaa. Sen sijaan halusin opinnäytetyön olevan laajempi kokonaisuus ja kuvata yhdenlaisen yritysverkon suunnittelua ja toteutusta.

## LÄHTEET

Bruno, A., Jordan, S. 2011. CCDA 640-864 Official Cert Guide. 4. p. USA: Cisco Press.

Froom, R., Sivasubramanian, B. & Frahim, E. 2010. CCNP/CCDP Implementing Cisco Switched Networks. USA: Cisco Press.

Historiaa. 2014. Veljekset Keskinen Oy:n verkkosivut. Viitattu 4.4.2014.  
<http://tuuri.fi/fi/kylakauppa/historiaa>

HP 12500 Routing Switch Series IRF Configuration Guide. 2012.

HP 5820X & 5800 Switch Series IRF Configuration Guide. 2012.

HP 5820X & 5800 Switch Series Layer 2 – LAN Switching Configuration Guide. 2012.

HP 5830 Switch Series IRF Configuration Guide. 2013.

HP 5920 & 5900 Switch Series IRF Configuration Guide. 2013.

HP A5820X & A5800 Switch Series MAD Overview and Configuration Examples. 2011.

HP FlexCampus Reference Architecture Deployment Guide. 2012.

HP FlexCampus Reference Architecture Guide. 2011.

HP IRF White Paper. 2010.

HP Series 2530 Switches Management and Configuration Guide. 2012.

Networktest HP IRF Performance Assessment. 2011.

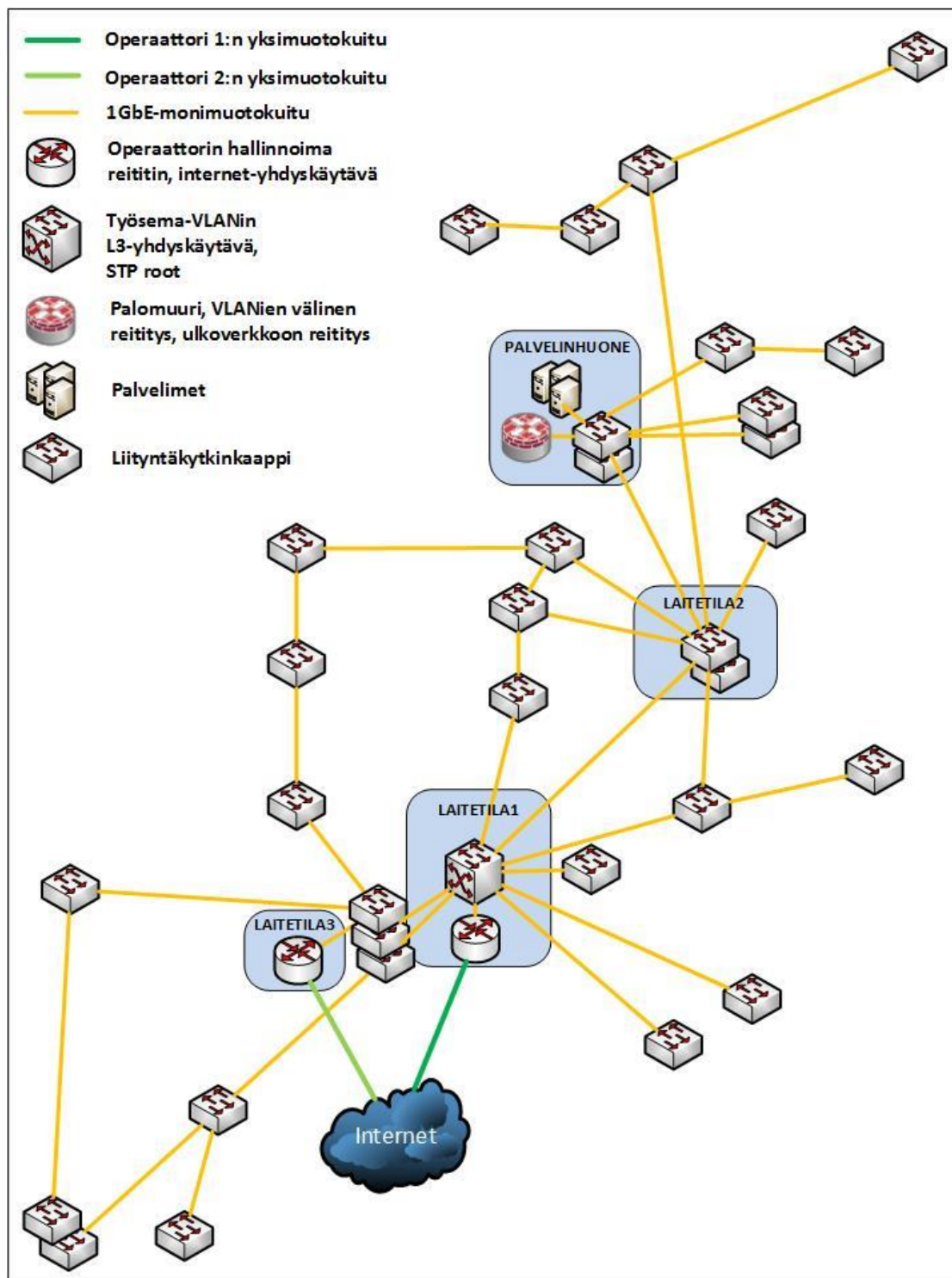
Nykypäivää. Veljekset Keskinen Oy:n verkkosivut. Viitattu 4.4.2014.  
<http://tuuri.fi/fi/kylakauppa/nykypaivaa>

Parziale, L., Britt, D., Davis, C., Forrester, J., Liu, W., Matthews, C. & Rosselot, N. 2006. TCP/IP Tutorial and Technical Overview. IBM Redbooks.

Tiso, J., Caswell, E. 2012. CCDP Designing Cisco Network Service Architecture (ARCH) Foundation Learning Guide. 3. p. USA: Cisco Press.

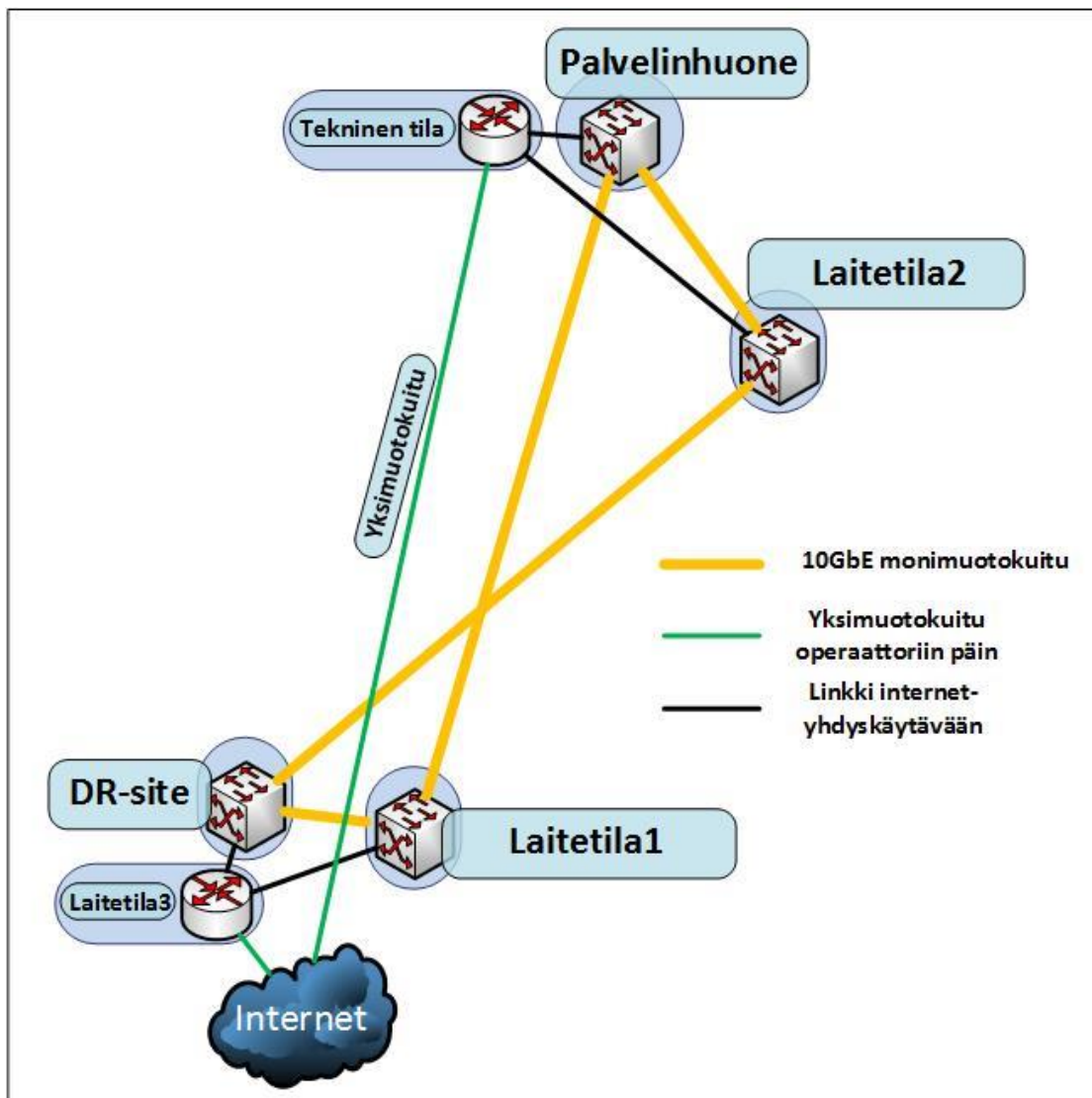
## LIITTEET

### Liite 1. Yrityksen kuitukaapeli-infrastruktuuri (julkinen versio)





## Liite 2. Uudet kuituvedot (julkinen versio)



### Liite 3. Testiympäristön fyysiset kytkennät, vaihe 1

SOURCE			DESTINATION	
Device	Interface		Device	Interface
Member1	XGE 1/0/1		Member3	XGE 3/0/2
	XGE 1/0/2		Member7	XGE 7/0/1
	GE 1/0/10		MAD-sw	GE 49
	GE 1/0/13		Access-sw3	GE 27
	GE 1/0/20		Win7-laptop	Monitoring
Member3	XGE 3/0/1		Member5	XGE 5/0/2
	XGE 3/0/2		Member1	XGE 1/0/1
	GE 3/0/10		MAD-sw	GE 50
	GE 3/0/12		Access-sw1	GE 25
Member5	XGE 5/0/1		Member7	XGE 7/0/2
	XGE 5/0/2		Member3	XGE 3/0/1
	GE 5/0/10		MAD-sw	GE 51
	GE 5/0/12		Access-sw2	GE 25
	GE 5/0/13		Access-sw3	GE 28
	GE 5/0/14		Access-sw1	GE 26
Member7	XGE 7/0/1		Member1	XGE 1/0/2
	XGE 7/0/2		Member5	XGE 5/0/1
	GE 7/0/10		MAD-sw	GE 52
	GE 7/0/12		Access-sw2	GE 26
MAD-sw	GE 49		Member1	GE 1/0/10
	GE 50		Member3	GE 3/0/10
	GE 51		Member5	GE 5/0/10
	GE 52		Member7	GE 7/0/10
Access-sw1	Eth-1		Linux-ws1	
	GE 25		Member3	GE 3/0/12
	GE 26		Member5	GE 5/0/14
Access-sw2	Eth-1		Linux-ws4	
	GE 25		Member5	GE 5/0/12
	GE 26		Member7	GE 7/0/12
Access-sw3	Eth-1		Linux-ws3	
	Eth-2		Linux-ws2	
	GE 27		Member1	GE 1/0/13
	GE 28		Member5	GE 5/0/13

## Liite 4. IRF-sw konfiguraatio (olennainen osa)

```
#
sysname Member1
#
irf domain 10
irf mac-address persistent timer
irf auto-update enable
undo irf link-delay
irf member 1 priority 30
irf member 3 priority 25
irf member 5 priority 20
irf member 7 priority 15
irf member 1 description Palvelinhuone
irf member 3 description Laitetila1
irf member 5 description DR-site
irf member 7 description Laitetila2
#
domain default enable system
#
telnet server enable
#
link-aggregation lacp traffic-redirect-notification enable
#
management-vlan 10
#
fan prefer-direction slot 1 port-to-power
fan prefer-direction slot 3 port-to-power
fan prefer-direction slot 5 port-to-power
fan prefer-direction slot 7 port-to-power
#
mirroring-group 1 local
#
mad exclude interface Ten-GigabitEthernet3/0/20
#
vlan 1
#
vlan 10
description MGMT-VLAN
name Hallinta
#
vlan 20
description MAD-VLAN
name MAD
#
vlan 30
description WS-VLAN
```

```

name Data
#
vlan 40
description SRV-VLAN
name Server
#
interface Bridge-Aggregation1
description MAD-link
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 20
port trunk pvid vlan 20
link-aggregation mode dynamic
mad enable
#
interface Bridge-Aggregation2
description Link-to-Access-sw1
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 10 30 40
link-aggregation mode dynamic
#
interface Bridge-Aggregation3
description Link-to-Access-sw2
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 10 40
link-aggregation mode dynamic
#
interface Bridge-Aggregation4
description Link-to-Access-sw3
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 10 30
link-aggregation mode dynamic
#
interface NULL0
#
interface Vlan-interface1
ip address dhcp-alloc client-identifier mac Vlan-interface1
#
interface Vlan-interface10
description Hallinta-VLAN
ip address 192.168.10.10 255.255.255.0
#
interface Vlan-interface30
description DATA-VLAN
ip address 192.168.30.1 255.255.255.0
#
interface Vlan-interface40
description SRV-VLAN

```

```
ip address 192.168.40.1 255.255.255.0
#
interface Ten-GigabitEthernet1/0/10
port link-mode bridge
description Link-to-MAD
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 20
port trunk pvid vlan 20
mirroring-group 1 mirroring-port both
port link-aggregation group 1
#
interface Ten-GigabitEthernet1/0/12
port link-mode bridge
description Link-to-Access-sw1
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 10 30 40
port link-aggregation group 2
#
interface Ten-GigabitEthernet1/0/13
port link-mode bridge
description Link-to-Access-sw3
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 10 30
port link-aggregation group 4
#
interface Ten-GigabitEthernet1/0/20
port link-mode bridge
mirroring-group 1 monitor-port
#
interface Ten-GigabitEthernet3/0/10
port link-mode bridge
description Link-to-MAD
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 20
port trunk pvid vlan 20
mirroring-group 1 mirroring-port both
port link-aggregation group 1
#
interface Ten-GigabitEthernet3/0/12
port link-mode bridge
description Link-to-Access-sw1
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 10 30 40
port link-aggregation group 2
#
interface Ten-GigabitEthernet5/0/10
port link-mode bridge
```

```

description Link-to-MAD
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 20
port trunk pvid vlan 20
mirroring-group 1 mirroring-port both
port link-aggregation group 1
#
interface Ten-GigabitEthernet5/0/12
port link-mode bridge
description Link-to-Access-sw2
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 10 40
port link-aggregation group 3
#
interface Ten-GigabitEthernet5/0/13
port link-mode bridge
description Link-to-Access-sw3
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 10 30
port link-aggregation group 4
#
interface Ten-GigabitEthernet5/0/14
port link-mode bridge
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 10 40
shutdown
#
interface Ten-GigabitEthernet7/0/10
port link-mode bridge
description Link-to-MAD
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 20
port trunk pvid vlan 20
mirroring-group 1 mirroring-port both
port link-aggregation group 1
#
interface Ten-GigabitEthernet7/0/12
port link-mode bridge
description Link-to-Access-sw2
port link-type trunk
port trunk permit vlan 1 10 40
port link-aggregation group 3
#
interface Ten-GigabitEthernet1/0/1
description Link-to-Member3
#
interface Ten-GigabitEthernet1/0/2

```

```

description Link-to-Member7
#
interface Ten-GigabitEthernet3/0/1
description Link-to-Member5
#
interface Ten-GigabitEthernet3/0/2
description Link-to-Member1
#
interface Ten-GigabitEthernet5/0/1
description Link-to-Member7
#
interface Ten-GigabitEthernet5/0/2
description Link-to-Member3
#
interface Ten-GigabitEthernet7/0/1
description Link-to-Member1
#
interface Ten-GigabitEthernet7/0/2
description Link-to-Member5
#
irf-port 1/1
port group interface Ten-GigabitEthernet1/0/1 mode enhanced
#
irf-port 1/2
port group interface Ten-GigabitEthernet1/0/2 mode enhanced
#
irf-port 3/1
port group interface Ten-GigabitEthernet3/0/1 mode enhanced
#
irf-port 3/2
port group interface Ten-GigabitEthernet3/0/2 mode enhanced
#
irf-port 5/1
port group interface Ten-GigabitEthernet5/0/1 mode enhanced
#
irf-port 5/2
port group interface Ten-GigabitEthernet5/0/2 mode enhanced
#
irf-port 7/1
port group interface Ten-GigabitEthernet7/0/1 mode enhanced
#
irf-port 7/2
port group interface Ten-GigabitEthernet7/0/2 mode enhanced
#
return

```

## Liite 5. Access-sw1 konfiguraatio

```
hostname "Access-sw1"
trunk 25-26 trk1 lacp
snmp-server community "public" unrestricted
vlan 1
    name "DEFAULT_VLAN"
    no untagged 1-2
    untagged 3-24,27-28
    tagged Trk1
    ip address dhcp-bootp
    exit
vlan 10
    name "Hallinta"
    tagged Trk1
    ip address 192.168.10.11 255.255.255.0
    exit
vlan 30
    name "Data"
    untagged 2
    tagged Trk1
    no ip address
    exit
vlan 40
    name "Server"
    untagged 1
    tagged Trk1
    no ip address
    exit
primary-vlan 10
management-vlan 10
spanning-tree Trk1 priority 4
```

## Liite 6. Access-sw2 konfiguraatio

```
hostname "Access-sw2"
trunk 25-26 trk1 lacp
snmp-server community "public" unrestricted
vlan 1
    name "DEFAULT_VLAN"
    no untagged 1
    untagged 2-24,27-28
    tagged Trk1
    ip address dhcp-bootp
    exit
vlan 10
```



```

    name "Hallinta"
    tagged Trk1
    ip address 192.168.10.12 255.255.255.0
    exit
vlan 40
    name "Server"
    untagged 1
    tagged Trk1
    no ip address
    exit
primary-vlan 10
management-vlan 10
spanning-tree Trk1 priority 4

```

## Liite 7. Access-sw3 konfiguraatio

```

hostname "Access-sw3"
trunk 27-28 trk1 lacp
snmp-server community "public" unrestricted
vlan 1
    name "DEFAULT_VLAN"
    no untagged 1
    untagged 2-26
    tagged Trk1
    ip address dhcp-bootp
    exit
vlan 10
    name "Hallinta"
    tagged Trk1
    ip address 192.168.10.13 255.255.255.0
    exit
vlan 30
    name "Data"
    untagged 1
    tagged Trk1
    no ip address
    exit
primary-vlan 10
management-vlan 10
spanning-tree Trk1 priority 4

```

## Liite 8. MAD-sw konfiguraatio

```
hostname "MAD-sw"  
trunk 49-52 trk1 lacp  
interface Trk1  
    lacp mad-passthrough enable  
    exit  
snmp-server community "public" unrestricted  
vlan 1  
    name "DEFAULT_VLAN"  
    untagged 2-48,Trk1  
    tagged 1  
    ip address dhcp-bootp  
    exit  
vlan 10  
    name "Hallinta"  
    ip address 192.168.10.14 255.255.255.0  
    exit  
vlan 20  
    name "MAD"  
    tagged Trk1  
    no ip address  
    exit  
spanning-tree Trk1 priority 4
```